

## GPS・魚群探知機を用いた簡易海底地形計測の試み

著者	石井 健之
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2007
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00000807/">http://id.nii.ac.jp/1342/00000807/</a>

修士学位論文

GPS・魚群探知機を用いた  
簡易海底地形計測の試み

平成 19 年度

(2008 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海洋システム工学専攻  
石井 健之

[博士前期課程]

## 修士学位論文内容要旨

論文題目 GPS・魚群探知機を用いた

専攻 海洋システム工学

簡易海底地形計測の試み

氏名 石井 健之

【目的】漁獲や資源の管理、海岸工学など、その他様々な分野で海底地形図の把握をすることは重要である。一般的に海底地形図作成には、RTK-GPS とマルチナロービーム超音波測深機を用い、広範囲を一度に測深する方法が確立されている。しかし、この測深機を搭載している調査船は少ない上に、喫水が深くサンゴ礁や浅海域での調査は困難である。また、機器が大変高価であるため、経済的負担も大きく、利用者が限られてしまう。そこで、研究者や漁業従事者が、必要なときに容易に海底地形を計測できるシステムの構築を試み、作成される海底地形図の特性を検討した。

【方法】海底地形図作成に必要な位置情報と、その地点の水深データ取得に、市販の魚探と GPS を用いたシステムを構築した。測深と測位が同一地点で行えるように、舷側に取り付けたパイプの上下に GPS と送受波器を取り付けた。また、GIS ソフトを用いて 3 次元海底地形図を作成した。このシステムの有効性を検証するために、千葉県館山市館山湾の北西に位置する造船所前の海域で、海中まで伸びている 4 本の船台を中心に調査を行った。2006 年、小型舟艇（以下、和船）に 2 組の GPS と魚探を取り付け、2 機器同時に調査を行い、それぞれ得られたデータにより、海底地形図を作成し、その比較を行った。次に、良い結果を得られた方の機器を、船舶免許・船舶検査不要のインフレーターボートに装着し、2007 年、パソコン画面上に表示された情報を確認しながら操船を行う事によって、ワンマンで調査を行えるプログラムを作成し、実施した。そして、測深データに影響を与えると考えられる船体の動揺を、使用した 2 つの小型船で比較した。

【結果・考察】水深データ出力桁数や頻度、GPS の測位精度の違いなどにより、作成される海底地形図に大きな違いが見られた。基準としたマルチナロービーム超音波測深機による海底地形図に比べて凹凸が多く見られる原因として、GPS 測位精度やビーム幅による水平分解能の差に加え、船の動揺補正の有無が大きく影響していると思われる。インフレーターボートでのワンマン調査においては、操船・計測を行う上で大きな問題は無く、スムーズに調査が進められた。調査時間を長くし、データ数も多く取得することにより、より詳細な海底地形図の作成を行うことが出来た。使用した 2 つの小型船では、動揺特性に大きな差は見られず、どちらの船を使用しても測深データに与える影響は変わらないと考えられる。よってインフレーターボートを用いることにより、より簡便に海底地形計測が可能である。沿岸域の海底地形が十分に把握されていない現在、本研究のシステムであれば、大規模な調査船や高価な機器を必要とせずに容易に海底地形図を作成することができ、今後様々な分野での活用が期待される。

## 目次

1 章	緒言	1
1 - 1	研究の背景	1
1 - 2	研究の目的と概要	4
2 章	実験概要	6
2 - 1	使用器材	6
2 - 2	実験海域	9
2 - 3	データ取得方法	10
2 - 4	データ解析・補正方法	12
3 章	性能の異なる機器による海底地形図の比較	16
3 - 1	目的	16
3 - 2	実験方法	16
3 - 3	結果	19
3 - 3 - 1	航跡図の比較	19
3 - 3 - 2	海底地形図の比較	22
3 - 3 - 3	測深線の数による海底地形図の変化	27
3 - 4	考察	29

4 章	和船とインフレータブルボートの船体動揺比較	31
4-1	和船とインフレータブルボートの主な仕様の違い	31
4-2	船体動揺が計測データに与える影響について	34
4-3	目的	36
4-4	使用器材	37
4-5	実験方法	38
4-6	結果	39
4-7	考察	41
5 章	インフレータブルボートによる海底地形図の作成	43
5-1	目的	43
5-2	実験方法	43
5-3	結果	47
5-3-1	航跡図	47
5-3-2	海底地形図	48
5-3-3	船速変化のシミュレーションおける 海底地形図の変化	52
5-3-4	ワンマン計測システムについて	55
5-4	考察	56
6 章	まとめ	57

謝辞

参考文献

## 1 章 緒言

### 1－1 研究の背景

沿岸で漁獲対象とされる海洋生物の多くの分布や行動は、水温や塩分の環境要因だけではなく、底質や水深、海底面の凹凸など海底地形に密接に関係があることが知られている。定置網は、地形に対するこうした魚の行動を利用した一つの漁業であり、網の設置場所が漁獲の成否に大きく関係してくる（田原ら、1983）。また、種苗放流でも海底地形や底質が、放流個体の定着や生存に影響を及ぼすと考えられている（井上、1976）。海岸工学の分野では、沿岸部の局所的な地形の変化が高潮や津波の海水流動を複雑化させることが知られており（柿沼ら、2003）、これらを考慮した数値シミュレーションを行なうには、沿岸の詳細な海底地形図が必要となる。加えて、一年を通じて高波浪の影響を受けている汀線域の地形変化は詳細に確認されておらず、成果として公表されている地形図の殆どは正しく地形を表現しているとは言い難い（和田ら、2004）。このように現在様々な分野において、浅海域の海底地形の把握は重要性が高まっている。

この海底地形図作成には、マルチナロービーム超音波測深機と Real Time Kinematic GPS(RTK-GPS)を用いた方法が確立されている（JAMSTEC、2001）。この測深機は、船の左右方向に指向角が広く、前後方向に指向角の狭い音波を発射して、船の真下の水深だけでなく、船の左右方向の水深までを一時に測量することのできる装置である。この測深方法は、船の前進とともにあたかも「芝刈り機で芝を刈ったように」海底地形を明らかにすることから、スワス測量と呼ばれることもある（図 1—1）。

近年における RTK-GPS の普及に伴い、海底地形計測における測位において利用される機会が増えてきている。これは、RTK-GPS の鉛直方向の精度が非常に高い

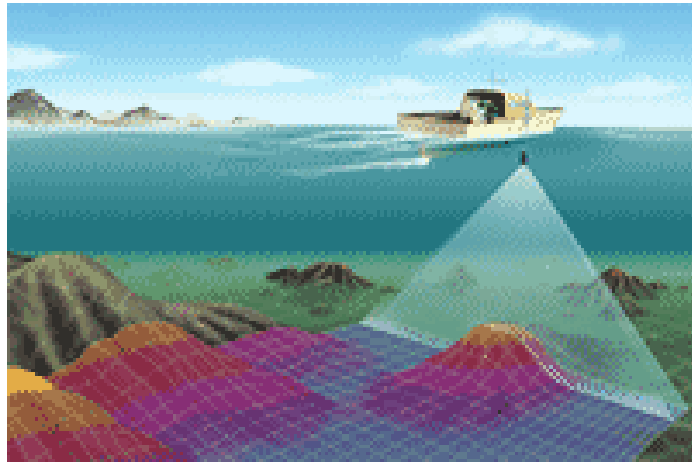


図 1-1 マルチナロービーム超音波測深機のイメージ図

〔(株)Arc Geo Supportホームページ (<http://www.a-gs.jp/index.html>) より〕

ことが大きな理由である。一般に RTK-GPS の鉛直方向の測位精度は約 5cm とされている。従来の海底地形計測では、音響測深機による水深データに対して、潮汐による潮位の補正を行なうことにより海底地形図を作成する。しかし、RTK-GPS を用いることにより正確な音響測深機の標高を得ることができることから潮位の補正が不要となり、加えて波浪による水深データの誤差をリアルタイムに補正することで海底地形図の精度が向上する（和田ら、2004）。

このようにして作成された海底地形データは、海上保安庁より「海の基本図」をはじめ、数種類の海底地形情報として販売されている。これらのデータや GIS ソフトを活用することによって海底地形図の 3 次元化も容易となってきた（図 1-2）。しかし、これらの海底地形図は、主に船舶航行の安全を目的として作成されている。



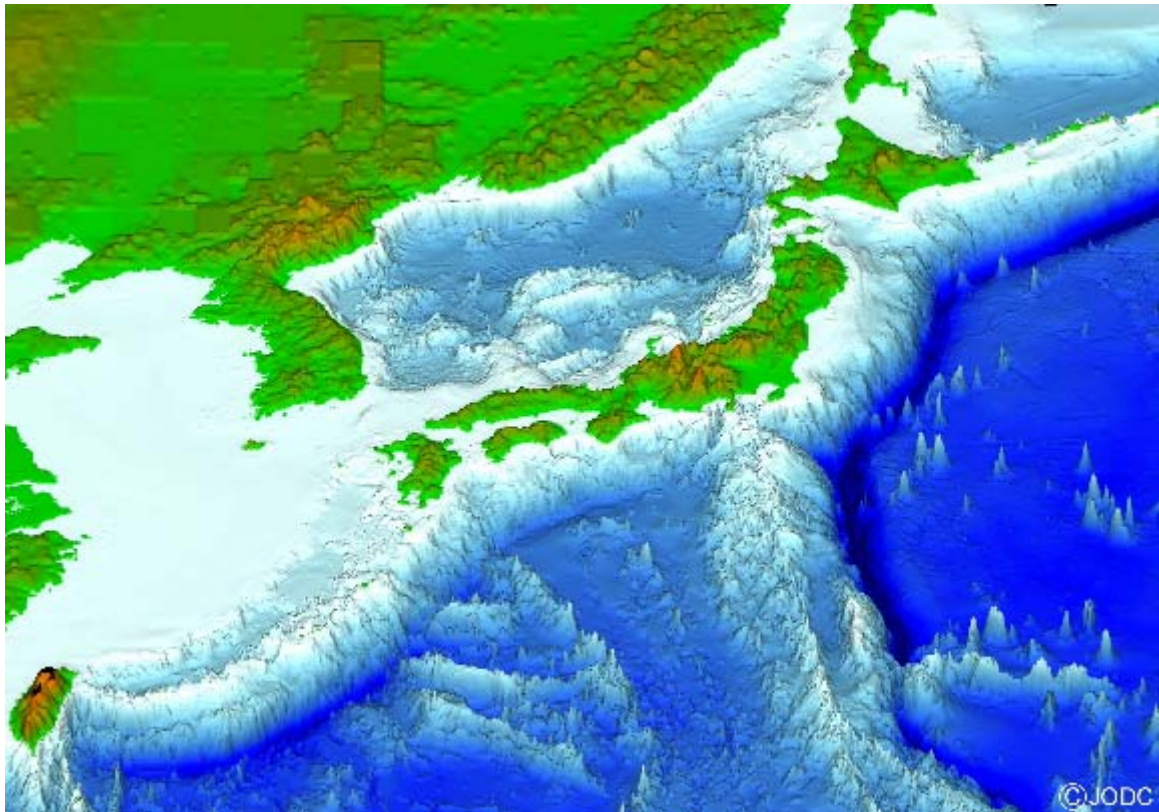


図 1-2：海上保安庁によるデータを基に作成された海底地形図

[海上保安庁海洋情報部ホームページ (<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>) より]

高精度の測深を行なうことのできるマルチナロービーム超音波測深機であるが、この測深機を搭載している調査船は少ない上に、測深機器本体に加え、超音波を送受するハイドロフォンも大規模なため、搭載する船舶の喫水は深いものとなる。このため、沿岸域の浅海域やサンゴ礁海域での調査は座礁などの危険性があり困難である。また、RTK-GPS を含めこれらの機器は大変高価であるため、経済的負担も大きく、利用者が限られてしまう。そのため、船舶航行に関係の無い浅海域の詳細な海底地形データは存在しない（宮本ら、2006）。これに対し、水際から水深 15m 付近の汀線域における詳細な海底地形の把握を目的として、喫水が 0.1m 程度と非常に浅い水上オートバイに通常の測深機と RTK-GPS 受信機を組み合わせで搭載するシステムの開発が行なわれ、作業全般に渡り省力化と効率化、加えて安全性の



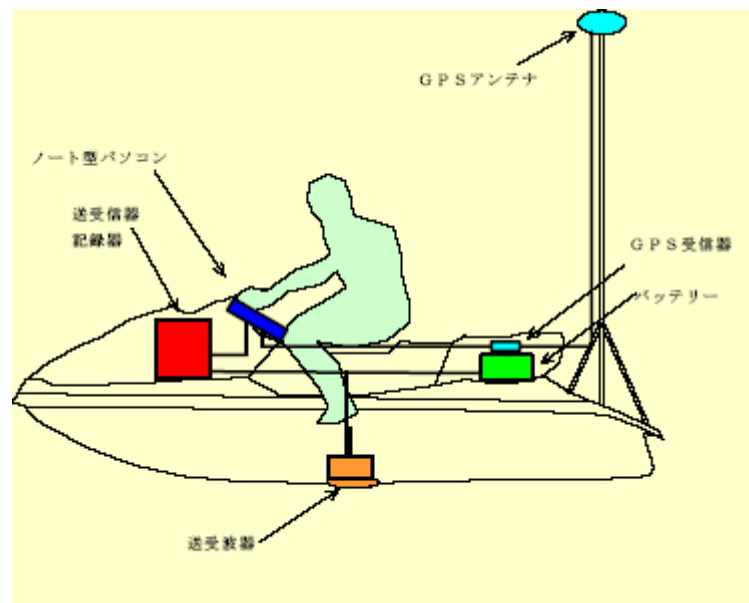


図 1-3：水上オートバイを用いた海底地形計測システムの  
構成イメージ図

[川崎地質(株)ホームページ

(<http://www.kge.co.jp/Gijyutsu/KasenSokuryou/KasenSokuryo.htm>) より]

向上が検討された（和田ら、2004）（図 1-3）。しかしこのシステムでは機器を搭載した専用の水上オートバイを必要とするため、トレーラーなどを用いて調査海域に搬入を行なう必要がある。よってその点では簡便さに欠けてしまう。加えて、前述したとおり現状では RTK-GPS が安価に入手可能な機器とは言い難い。

## 1-2 研究の目的と概要

本研究では、沿岸域の浅海域やサンゴ礁海域における海底地形計測において、先述したような数々の問題点を解消するために、研究者や漁業従事者が、必要なときにどこでも簡便に、経済的負担も少なく海底地形図の作成が可能となるシステムの構築を試みた。このシステムは、安価に入手可能になった GPS 受信機と魚群探知

機を、沿岸域の浅海域やサンゴ礁海域でも航行可能な喫水の浅い小型舟艇に搭載し、計測により得られたデータから等高線/3次元地図作成ソフトウェアにより海底地形図を作成するものである。ここでは、GPSの測位精度、水深の出力単位、各データの出力頻度の異なる2組の装置を用いることで、作成された海底地形図による海底地形の再現性について比較検討した。さらに、誰もがどこでも簡便に調査を行なうことを可能にするためには、免許が不要で持ち運び可能な船舶を用いる必要がある。そこで、計測に用いる小型舟艇についても、一般的な小型舟艇であるFRP製の和船型ボートと、免許が不要で可搬型のインフレーターボートの性能を比較することで、その可能性について検討した。

## 2 章 実験概要

### 2-1 使用器材

海底地形図作成のためには、水深データとその点での位置データ（緯度・経度）が必要となる。本研究では、測深には魚群探知機を、測深点の測位には GPS を使用する。魚群探知機や GPS は、現在、使用目的によって性能や価格も多種多様な機種が市販されている。そこで、本研究では以下の条件を満たす機器を選定した。

- 1) 比較的安価に入手可能な機種
- 2) 搭載する小型舟艇のタイプを選ばない
- 3) 機器の持ち運びが少人数で容易に行なうことが可能
- 4) 水深データと測位データをパーソナルコンピューター（以下 PC）へ出力するためのデジタルデータ出力ポートを有する

このような条件を満たす魚群探知機と GPS を、仕様の異なる機種で 2 組用意した。この魚群探知機と GPS の組み合わせをそれぞれ実験機器 A・実験機器 B とする。この 2 組の実験機器により実際に海底地形図の作成を行ない、それらの仕様の差によって生じる海底地形の再現性の差異について検討を行なう。

実験機器 A は、魚群探知機に株式会社 光電製作所製の CVG-7070Mk2（図 2-1）を使用した。この魚群探知機は、小型漁船やプレジャーボート向けに市販されている機器であり、対応する GPS と接続することで GPS プロッタとしても使用できることから、GPS プロッタ魚探と呼ばれている。GPS には、同社製の GPS-20A（図 2-2）を使用した。この実験機器では、GPS より得られた位置データが、一度魚群探知機本体に出力されることで、魚群探知機本体に調査点の水深、航跡、船速が表示される。そして、魚群探知機からは水深や位置などのデータが NMEA-0183 フォーマットで出力される。

次に実験機器 B は、魚群探知機に古野電気(株)製の FCV620 (図 2-3) を使用した。この魚群探知機も小型漁船やプレジャーボート向けに市販されている機器であり、対応する GPS を接続することにより、位置情報や船速などを表示することが可能である。この実験機器は、前述したように実験機器 A との違いを検討するため、GPS に POLSTAR 社製のイオ 111 (図 2-4) を使用した。この GPS は、実験機器 A に比べ、非常に小型であり、測位精度・分解能は高い。接続は魚群探知機を介することなく USB 端子により直接 PC に接続した。そのため実験機器 A とは違い、魚群探知機のモニターには船速等の情報は表示されず、水深・位置データは別々に PC に出力される。2 種の魚群探知機、GPS の主な仕様を表 1 に示す。



図 2-1 : CVG-7070Mk2



図 2-2 : GPS-20A



図 2-3 : FCV620



図 2-4 : イオ 111

表 1 使用した魚群探知機、GPS 受信機の仕様

	実験機器 A	実験機器 B
魚探	KODEN	FURUNO
	CVG-7070M k 2	FCV620
周波数	50/200 k Hz	
ビーム幅	70° /12°	46° /10°
水深データ出力単位	10cm	1cm
データ出力頻度	約 3 秒毎	約 1 秒毎
GPS	KODEN	POLSTAR
	GPS-20A	イオ 111
測位精度	8m (2DRMS)	5m (2DRMS)
測位分解能	1.8m	0.18m

2 種の魚群探知機においての大きな違いは、水深データの出力単位と出力頻度である。実験機器 A の魚群探知機では水深データの値が 0.1m 単位で出力される。実験機器 B は 0.01m 単位で出力される。これにより、実験機器 B の方が分解能の高い水深データを得ることが可能なため、詳細な海底地形図を作成されることが期待できる。また、PC へデータを出力する頻度は、実験機器 A が約 3 秒毎であり、実験機器 B は約 1 秒毎である。これにより、同じ時間の調査を行なったとしても、同一測深線上で実験機器 B は実験機器 A の約 3 倍のデータを取得することができる。また 2 種の GPS の間では、測位精度は実験機器 A が 8m で実験機器 B が 5m であり、分解能は、機器 B が実験機器 A の 10 倍となっている。このような機種の違いから、測深点の数や GPS の測位精度が、海底地形の再現性にどのように影響するかを比較検討する。

## 2-2 実験海域

実験は、千葉県館山市の館山湾の東京海洋大学水圏科学フィールド教育研究センター館山湾内支所周辺海域で実施した。(図 2-7)

作成された海底地形図による海底地形の再現性を評価するためには、凹凸などの特徴が明確な海底地形を有する海域で実験をすることが望ましい。館山湾北西に位置する造船所前の海域(図 2-7 の赤丸部分)には、4 本の船舶上下架用レールの架台(以下船台)が海岸線とほぼ直角方向に沖合に向かって伸びている(図 2-8)。

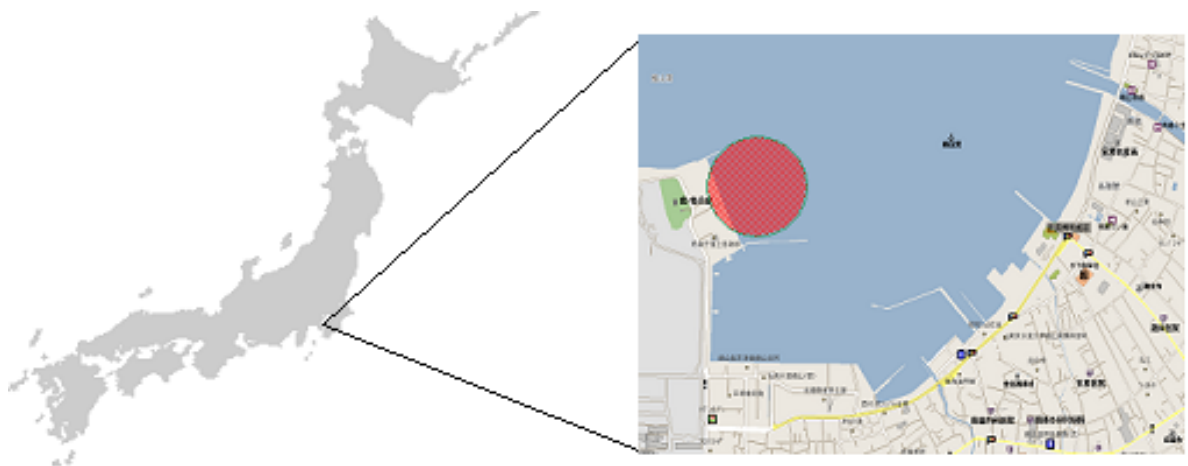


図 2-7 : 実験海域



図 2-8 : 造船所と沖合まで伸びている船台

よって本研究ではこの船台等により構成されている特徴的な造船所前の海底地形を中心に計測を行ない、それにより作成した海底地形図を比較した。比較には、本研究で作成した海底地形図に加え、一般的な海底地形図の例として、(財)日本水路協会が発行している海の基本図デジタルデータを基に作成した海底地形図と、2006年1月に古野電気(株)製のマルチナロービーム超音波測深機 HF-600F によって同海域を計測したデータを基に作成した海底地形図を使用した。

### 2-3 データ取得方法

魚群探知機による測深と GPS による測位が同一地点で行なえるようにするため、まず小型舟艇に海面に対して垂直になるようにパイプ取り付けた。その上端に GPS 受信機を取り付け、下端に魚群探知機の送受波器を取り付けた (図 2-9)。

そして魚群探知機本体、データ記録のための PC、バッテリー、AC/DC インバーター等は一つのコンテナ (60cm×40cm×35cm) に収納し小型舟艇に搭載した。(図 2-10)





図 2-9 : GPS と送受波器取り付け状況



図 2-10 : コンテナ収納状況

これらの機器を搭載した小型舟艇を航行させながらデータの取得を行なう。効率良くデータを均等に取得するために、航跡が格子状を描くように針路を向けて航走する。本研究では、船台に対して平行な計測線と直行する計測線により格子状の航跡を描くように船を航行させた。今回使用した実験機器のデータの出力頻度と GPS の測位分解能（表 1）を考慮すると、船速は約 0.4 ノットにて航行することにより、約 0.18m 間隔で測深データを取得できる。しかし、針路の保持をこのような低速で行なうことは困難であるため、本研究では船速 2 ノット前後に設定した。

## 2-4 データ解析・補正方法

本研究では三次元海底地形図の作成に、Golden Software 社の等高線/3 次元地図作成ソフトウェア Surfer8 を使用した。このソフトは、グリッドを用いたグラフソフトである。規則的でない XYZ データを補間して規則的な間隔を持つグリッドに変換し、これを使って等高線マップやサーフェスマップを始めとする様々なマップを作成することが可能であり（図 2-11）、その際にはこれらのデータを効果的に表現する為の多くのオプションが存在する。これにより、使用する色やそのコントラストを変えたりすることも可能である。さらに、境界情報やデータポイント配置の追加、複数のマップの組み合わせなどを行なうことによって、海底地形図に航跡等を重畳することができるため、より高度なマップ作成が可能となる。また、グリッド変換のために複数のアルゴリズムが用意されており、それによりデータの補間結果が異なるので、使用するデータに最適な変換アルゴリズムを選択することができる（Golden Software, Inc、2002）。

本研究では、このソフトによりサーフェスマップを作成し、海底地形図の 3 次元化を行なった。これにより、視覚的な海底地形の把握がより容易になると期待される。またグリッド変換にはクリギング法を用いた。クリギング法はデフォルトの

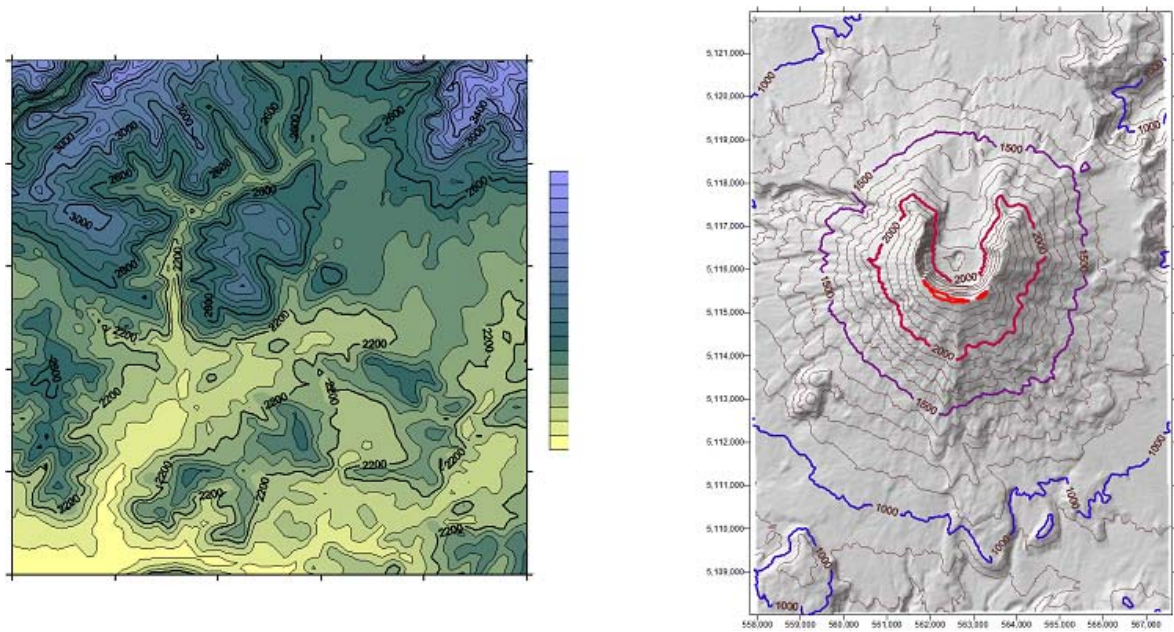


図 2-11 : Surfer8 により作成できるマップの例

グリッド作成法となっており、最も柔軟な手法の 1 つである。大多数のデータセットに対して良好なマップを生成するため、本研究でもこの変換手法を用いた。海底地形図作成に当たっては、まず計測によって得られたデータをソフトに対応した形式に変換を行なう必要がある。実験機器 A から PC に出力されるデータは、txt 形式により時間毎にひとつのまとまりとなって表示される (図 2-12)。例として挙げた図 2-12 のデータは 2006 年 6 月 2 日の午前 9 時 28 分 41 秒のものである。

この中より位置・水深データ、時刻データを抽出する。図 2-12 の中で、水深は\$SDDBT、位置と時刻は\$GPGGA の項目に表示されている。抽出したデータは Excel 形式に変換し、補正を行なう。実験機器 B は先述したとおり、魚群探知機と GPS は別々に PC にデータを出力する。そのため、位置、水深、時刻データのみを時刻毎に Excel 形式で記録されるプログラムを作成した (図 2-13)。これにより、実験機器 A によって記録されたデータに比べ、必要なデータを抽出する作業は省略されることにより、海底地形図作成もより簡便に行なうことができる。

\$SDDBT,,f,007.7,M,,F\*06  
 \$SDMTW,00.0,C\*04  
 \$GPGLL,3459.51,N,13950.55,E,002841,A\*24  
 \$GPVTG,248.0,T,254.0,M,02.0,N,,\*14  
 \$GPGGA,002841,3459.513,N,13950.559,E,2,08,01.0,,,,\*60  
 \$GPZDA,002841,02,06,2006,-09,00\*63  
 \$GPZLZ,002841,092841,\*7E  
 \$GPMSK,288.0,A,200,A,05\*75

図 2-12：実験機器 A より出力されるデータの例

時刻	緯度	経度	水深
0:07:41	3459.508	13950.53	5.91
0:07:42	3459.508	13950.53	5.91
0:07:43	3459.507	13950.53	5.72
0:07:44	3459.507	13950.53	5.72
0:07:45	3459.506	13950.53	4.1
0:07:46	3459.506	13950.53	4.1
0:07:47	3459.505	13950.53	3.31
0:07:48	3459.505	13950.53	3.31
0:07:49	3459.505	13950.53	3.19
0:07:50	3459.504	13950.53	3.19

図 2-13：実験機器 B より出力されたデータの例

本研究で使用した魚群探知機の水深データ出力単位はそれぞれ実験機器 A が 0.1m、実験機器 B が 0.01m であるため、調査を行なう時間帯の干満差により、わずかではあるが水深データが影響を受ける可能性がある（宮本ら、2006）。そのため、気象庁ホームページ（<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）に公開されている潮位観測情報より、実験海域に最も近い観測点（布良）の潮位データを用いて潮汐補正を行なう。測深を行なった時間帯の潮位変化から最小二乗法により、時刻を変数とした潮位補間式を求め、これを用いて個々の水深データを時間毎に補正を行なう方法をとった。補正の際における海面の基準は、TP（東京湾平均海面）とした。これによって得られたデータを水深データとして、Surfer8 により 3 次元海底地形図を作成した。

### 3 章 性能の異なる機器による海底地形図の比較

#### 3-1 目的

本研究で使用した実験機器 A と実験機器 B には、魚群探知機のデータ出力単位や頻度、GPS の測位精度や分解能において違いがある。この性能の差により、作成される海底地形図にどのような違いが生じるかを比較、検討するために実験を行なった（以下、機器比較実験）。

#### 3-2 実験方法

実験は、2006 年 6 月 2 日に計測は午前 9 時から 10 時の約 1 時間実施した。本実験では、浅海域でも航行のできる喫水の浅い小型舟艇の代表的なものとして、東京海洋大学水圏科学フィールド教育センター館山湾内支所所属の YAMAHA 社製の和船型ボート（図 3-1、以下和船と表記する）を使用した。この和船は、素材が FRP 樹脂のものであり、長さ 5.3m、定員 7 名、搭載している船外機は YAMAHA 社製の 9.9 馬力船外機を搭載している。操船のためには、船の長さと搭載している船外機より、小型船舶操縦士免許を必要とする。



図 3-1：和船

2つの機器の比較を行なうにあたっては、同じ条件の中で海底地形計測を行なうことが望ましい。そこで本実験では、1隻の和船の左舷側に実験機器 A、B の GPS 受信機と魚群探知機の送受波機のついたパイプをそれぞれ装着し、それぞれの魚群探知機本体や PC の収納してあるコンテナ 2 つもそれぞれ搭載した状態で（図 3-1）、2つの機器で同時に海底地形計測を行なった。

使用した 2 種の魚群探知機は、送受波機の周波数を 50kHz と 200kHz の 2 つから設定することが可能である。本研究のシステムで海底地形計測を行なう際には、計測地点直下の水深データを得ることが必要であるため、ビーム幅が狭く詳細に計測を行なうことができる 200kHz を選択した。なお、使用した 2 つの魚群探知機には、電気機器からの誘導雑音や、お互いの干渉雑音を除去する機能が備えられているため、同周波数にて計測を行なった場合においても干渉等の問題は無い。

和船には操船者とそれぞれの機器の操作等を行なう者をあわせて 3 名が乗り込み、計測中は操船とデータの確認作業を分担した（図 3-2）。データ確認を行なう者は、同時に実験機器 A の魚群探知機本体に表示された航跡を確認して針路を決定し、操船者に指示を与える。



計測を行なった時間における実験海域付近の干満差は約 20cm であった (図 3-3)。そのため、この水位変化が、得られた水深データに影響を及ぼす可能性がある。そこで計測実施時間帯における布良の毎時の潮位から最小二乗法により、時間  $t$  を変数とした潮位補間式  $y = -576t^2 + 24t + 224$  を用いて個々の計測データを時間毎に補正した。ここでの時間  $t$  は秒単位で、調査日の 0 時を基準としている。

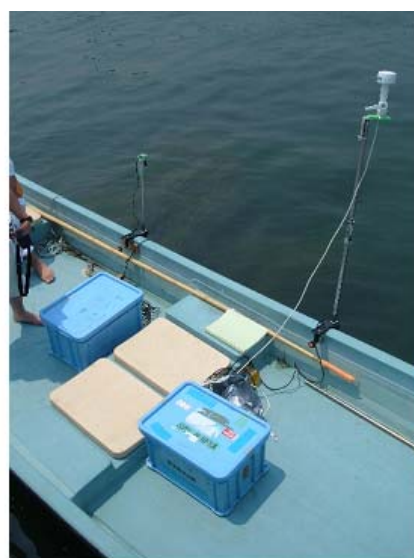
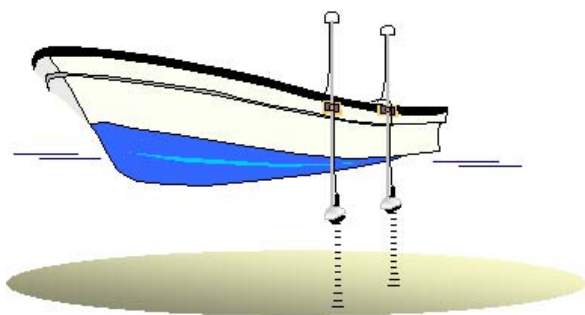


図 3-1：機器取り付け状況



図 3-2：データ・航跡確認者と操船者

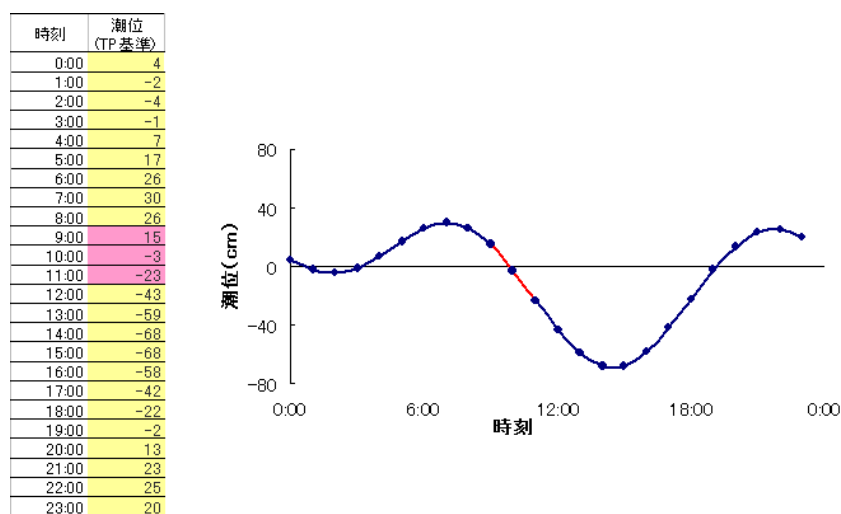


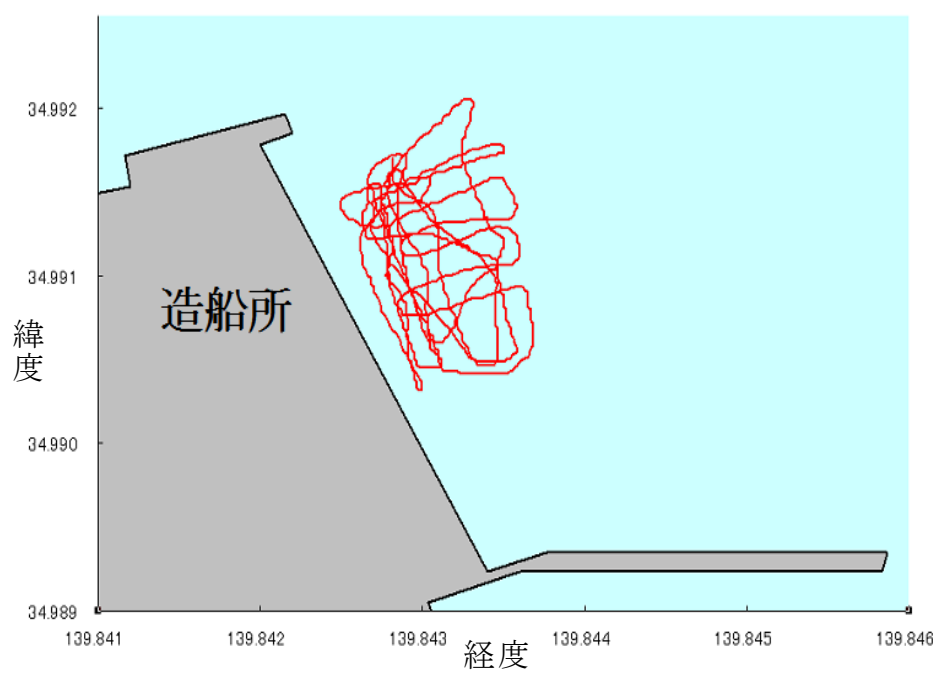
図 3-3 : 2006/6/2 の潮位変化（赤色部分が計測実施時間帯）

### 3-3 結果

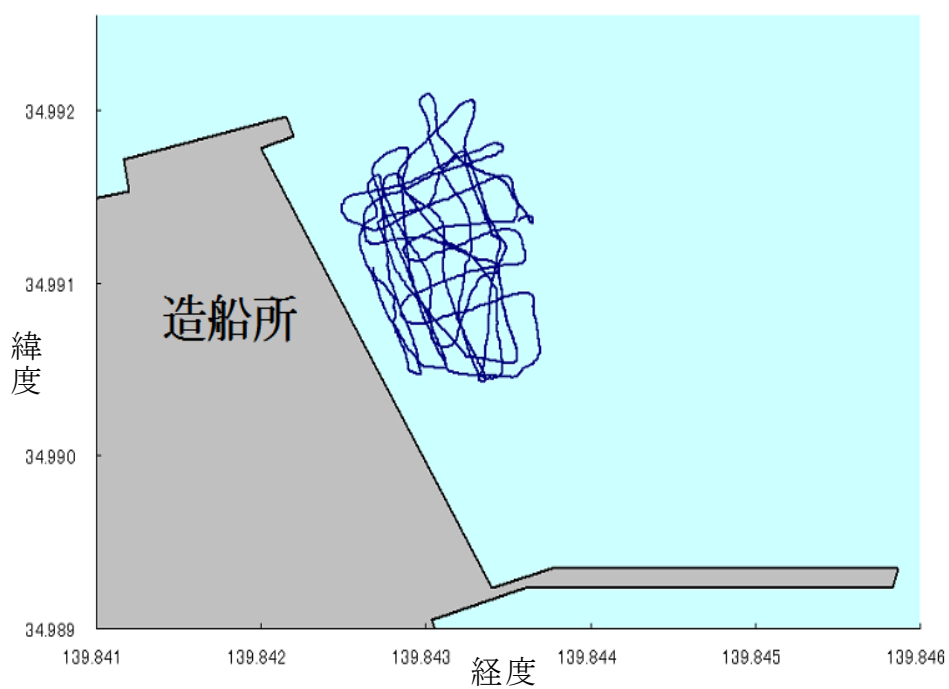
#### 3-3-1 航跡図の比較

それぞれの機器により取得した位置データで航跡図を作成した（図 3-4）。なお、取得したデータの中には、位置データと水深データのどちらかが欠落しているものがいくつか存在した。このようなデータは海底地形図作成には使用することができないため、あらかじめ削除した上で航跡図も作成している。海底地形図作成に使用可能と判断したデータの総数は、それぞれ実験機器 A が 936 個、B が 3574 個であった。

2 つの航跡図を比較すると、南北方向に計測を行なった際の航跡の中で、実験機器 B よりも実験機器 A の航跡の線が明らかに数本足りていない事が確認できる。よってこの事を確認するために 2 つの航跡を重畳し、航跡部分を拡大した（図 3-5）。



実験機器 A による航跡図



実験機器 B による航跡図

図 3-4：それぞれの機器による航跡図

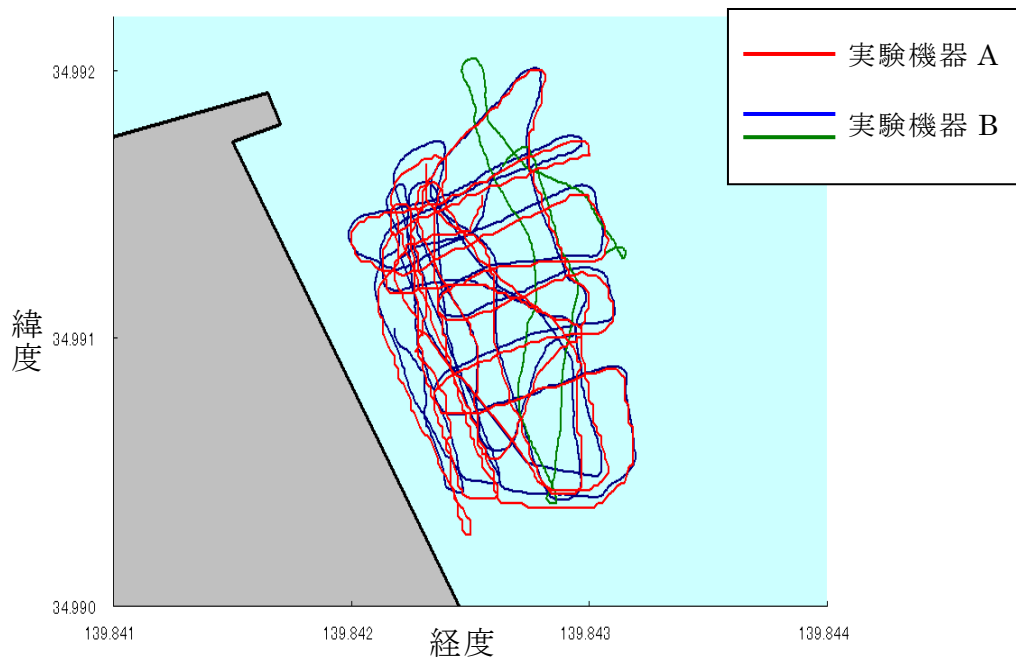


図 3-5 : 2 つの航跡図の重畳図

図 3-5 より 2 つの航跡を比較すると、GPS の測位精度や分解能の差により多少位置のずれは生じているものの、赤線部分(実験機器 A)と青線部分(実験機器 B の一部)の形状はほぼ一致していると言える。しかし、緑線部分(実験機器 B の残り)に関しては、同じような航跡が赤線部分には確認することができない。これにより解析を進めた所、同じ時間帯に調査を行なったにも関わらず、調査終了時刻の約 12 分前からの実験機器 A のデータが記録されていなかったことが確認された。データの取得ができていなかった原因として、魚群探知機と PC の接続部分の接触不良、もしくは PC のスリープ機能が原因により魚群探知機からのデータが記録されていなかったことが考えられる。本実験では 2 つの機器が同等の条件下で作成された海底地形図の比較を目的としている。そのため、実験機器 A が取得できていない約 12 分間のデータを実験機器 B のみが使用すると、データ数に差が生じ、機器の比較を行なう上で同等であるとはいえない。よって実験機器 A が事実上計測を終了したとされる時間以降の実験機器 B のデータ (データ数 724

個)は除き、それにより作成した海底地形図で比較を行なう。

### 3-3-2 海底地形図の比較

はじめに、最も一般的に入手可能な海底地形図の例として、(財)日本水路協会が発行している海の基本図デジタルデータを基に実験海域の海底地形図(図3-6)を作成した。この海底地形図は、 $90^{\circ}$ (東)の海面から伏角 $30^{\circ}$ で対象の海底を鳥瞰した地形図である。

この海底地形図からは、存在するはずの造船所前の船台は確認することはできず、南西から北東方向に水深が深くなることしか分らない。このように、この海域の詳細な海底地形図は、海の基本図デジタルデータでは得る事ができなかった。次に、同海域において本研究で基準とするマルチナロービーム超音波測深機によって計測を行なったデータによる海底地形図(図3-7)を作成した。なお、この海底地形図も図3-6と同様の方位・伏角である。

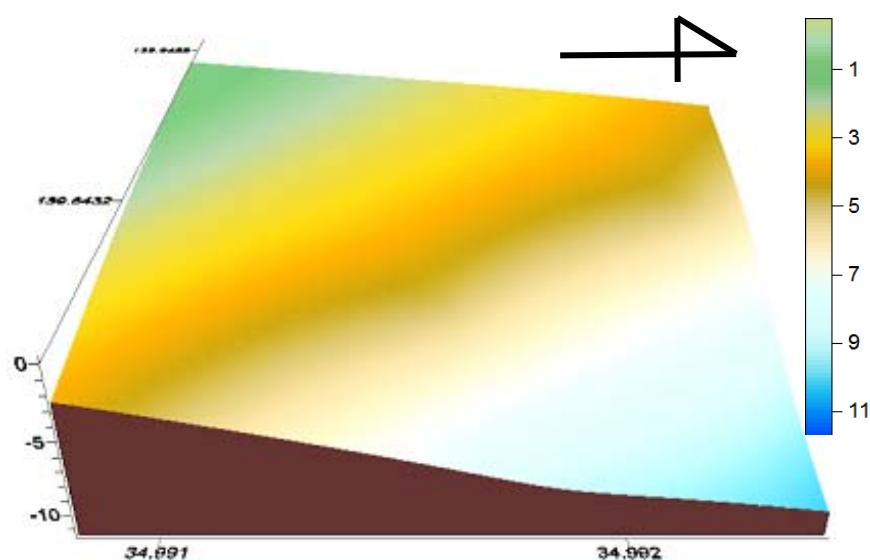


図3-6：海の基本図デジタルデータによる海底地形図

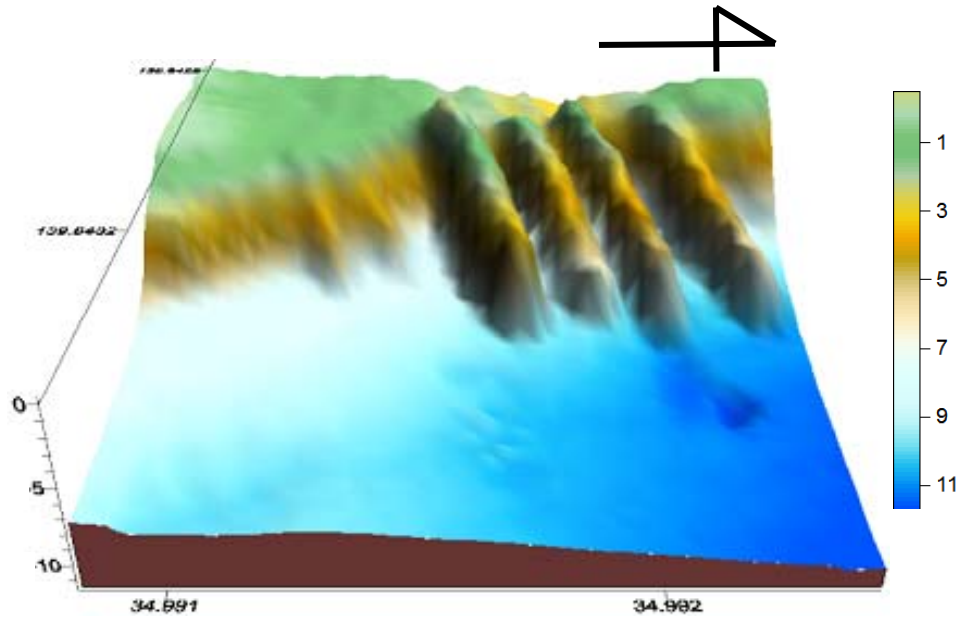


図 3-7：マルチナロービーム超音波測深機による海底地形図

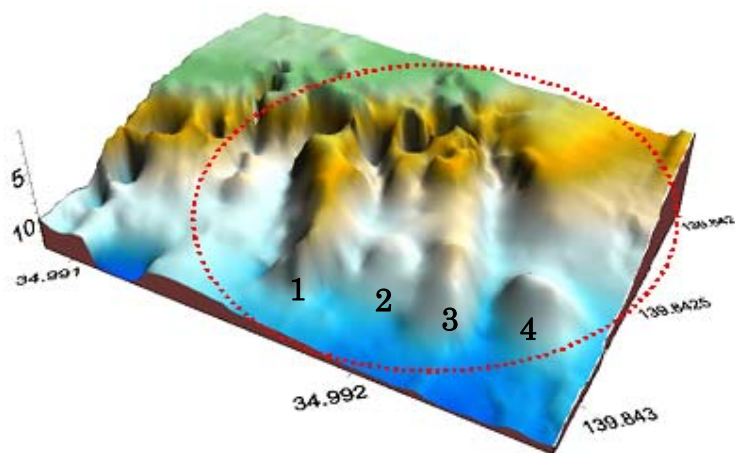
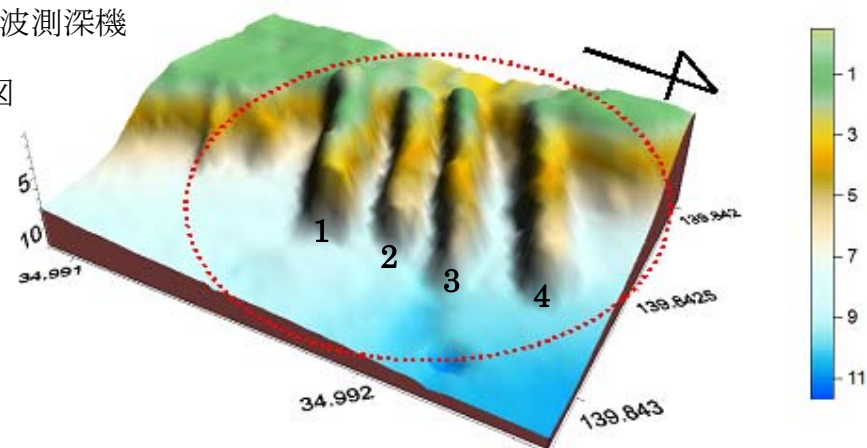
この海底地形図からは、図 3-6 と同様に南西から北東方向に水深が深く推移する様子に加えて、造船所前に位置する 4 本の船台と水深 4m 前後の線の存在に加えその形状を確認することが可能である。そして、4 本の船台のさらに沖合には、海底面に凹凸の存在も確認できる。この比較により、一般に入手可能な海底地形図では、実験海域の詳細な海底地形を把握することはできない。よって、本研究によって作成した海底地形図の再現性の評価には、マルチナロービーム超音波測深器による海底地形図を、実験海域における基準の海底地形図とした。

次に、本実験で使用したそれぞれの実験機器による海底地形図を図 3-8 と 3-9 に示す。この 2 つを、基準とするマルチナロービーム超音波測深機による海底地形図と比較を行なうことにより、本研究のシステムによる海底地形図の再現性を検証する。今回は、視覚的に比較を行なう為に、異なる 2 方向から見た海底地形図を作成した。沖から造船所方向すなわち  $60^{\circ}$ （北北西）の海面から伏角  $30^{\circ}$  で対象の海底を鳥瞰した海底地形図（図 3-8）と、 $180^{\circ}$ （南）の海面から伏角  $45^{\circ}$  で対象の海底を鳥瞰した海底地形図（図 3-9）の 2 種類を作成した。

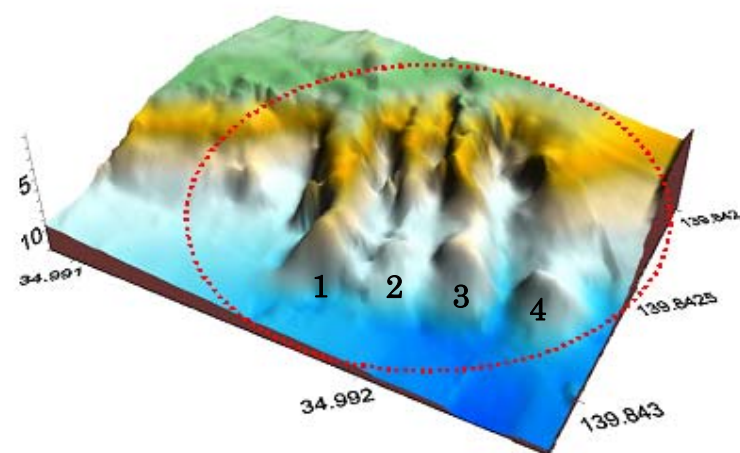


マルチナロービーム超音波測深機

による海底地形図



実験機器 A による海底地形図



実験機器 B による海底地形図

図 3-8 : 沖より造船所海岸線に向けて見た 3 次元海底地形図



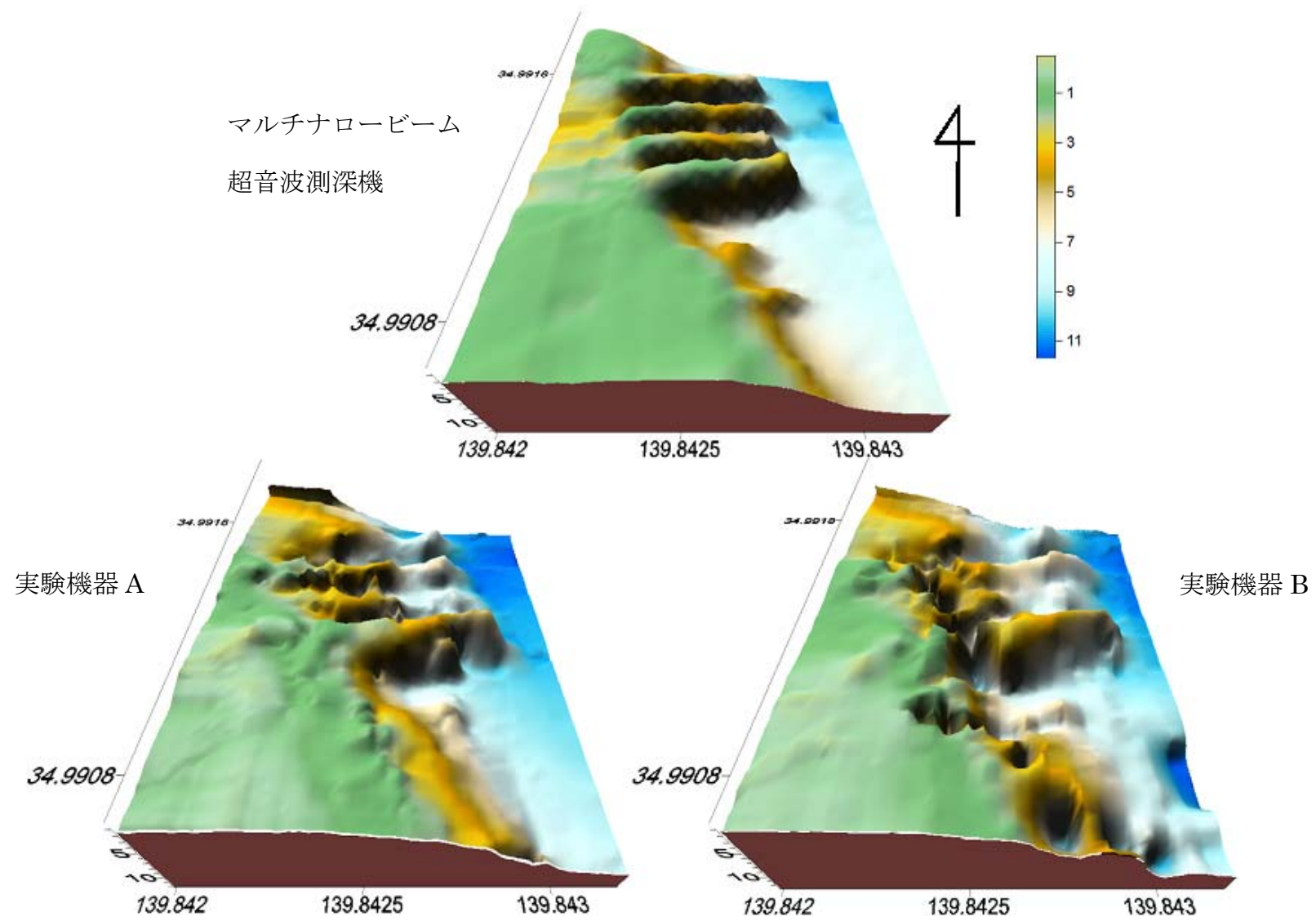


図 3-9 : 南から北方向に見た 3 次元海底地形図

図 3-8 の海底地形図の比較において、ここでは海底地形図の赤い点線で囲まれた部分に存在する造船所から沖合にかけて伸びている 4 本の船台の再現状況を比較する。この船台を南側から順に 1~4 の番号を付けて説明する。

まず基準の海底地形図には、前述したとおり 4 本の船台が鮮明に表現されている。基準の海底地形図と実験機器 A による海底地形図を比較すると、鮮明ではないものの、1 と 3 の船台はその存在を確認することができる。しかし、2 の船台に関してはその 2 つに比べると明瞭さに欠け、4 の船台に至っては、その途中が海底とほぼ同化し、基準の海底地形図などを参考にしない限り、そこに船台が存在していることを想像することは困難である。さらに船台部分に限らず、全体的に不自然な凹凸が多数存在する。

実験機器 B による海底地形図では、実験機器 A と同様に基準の海底地形図と比べて船台部分の形状は鮮明さに欠けるものの、実験機器 A より 1~3 の船台の存在は確認することが容易である。4 の船台に関しては、実験機器 A と同様に途中部分が欠落してしまっており、船台の確認は難しい。しかし、全体において実験機器 A に比べて不自然な凹凸は少ない。

次に図 3-9 における比較を行なう。この図に関しては船台部分に加え、造船所南側における水深約 4m 付近の形状についても比較をする。基準としている海底地形図では、船台が造船所海岸線より伸びている様子や、その長さがほぼ一定である様子、また南側の水深 4m 線については、南に行くにつれ水深の浅い部分がなだらかに広がっていることが表現されている。次に実験機器 A の海底地形図では、全ての船台が造船所海岸付近で切断されているような形状をしている。また、沖合の船台終点部分の位置にばらつきがある。南側の水深 4m 線においては、多数見

られる不自然な凹凸の影響により、どの部分からが境界であるかを確認することが困難となっている。これに比べて、実験機器 B による海底地形図では、船台が造船所海岸付近で切断されることなく続いており、沖合の終点部分も比較的一定の位置である。南側水深 4m 線の形状は実験機器 A によるものに比べるとはるかに形状は明瞭であり、水深の浅い部分の広がり方の様子は基準の海底地形図に近いものとなっている。これら 2 種の海底地形図を比較した結果、総合的に実験機器 B 海底地形図の方が基準に近い形状を表現していると判断できる。

### 3-3-3 測深線の数による海底地形図の変化

上で行なった比較に用いた実験機器 B の海底地形図の作成は、前述したとおり実験機器 A が取得できなかった時間帯のデータは削除した上で行なっている。これによって減少したデータの数、海底地形図作成に可能であった総数の約 1/5 に当たる量であるだけでなく、船台と直交している測線も 2 本減少していることになる。そこでこのデータを全て使用した場合の海底地形の再現性について検討した。今回は、測深線の有無とその部分の形状の変化を比較するために、海底地形図は航跡を重畳したもの（図 3-10）を作成した。これは、60°（北北西）の海面から伏角 60° で対象の海底を鳥瞰した海底地形図である。

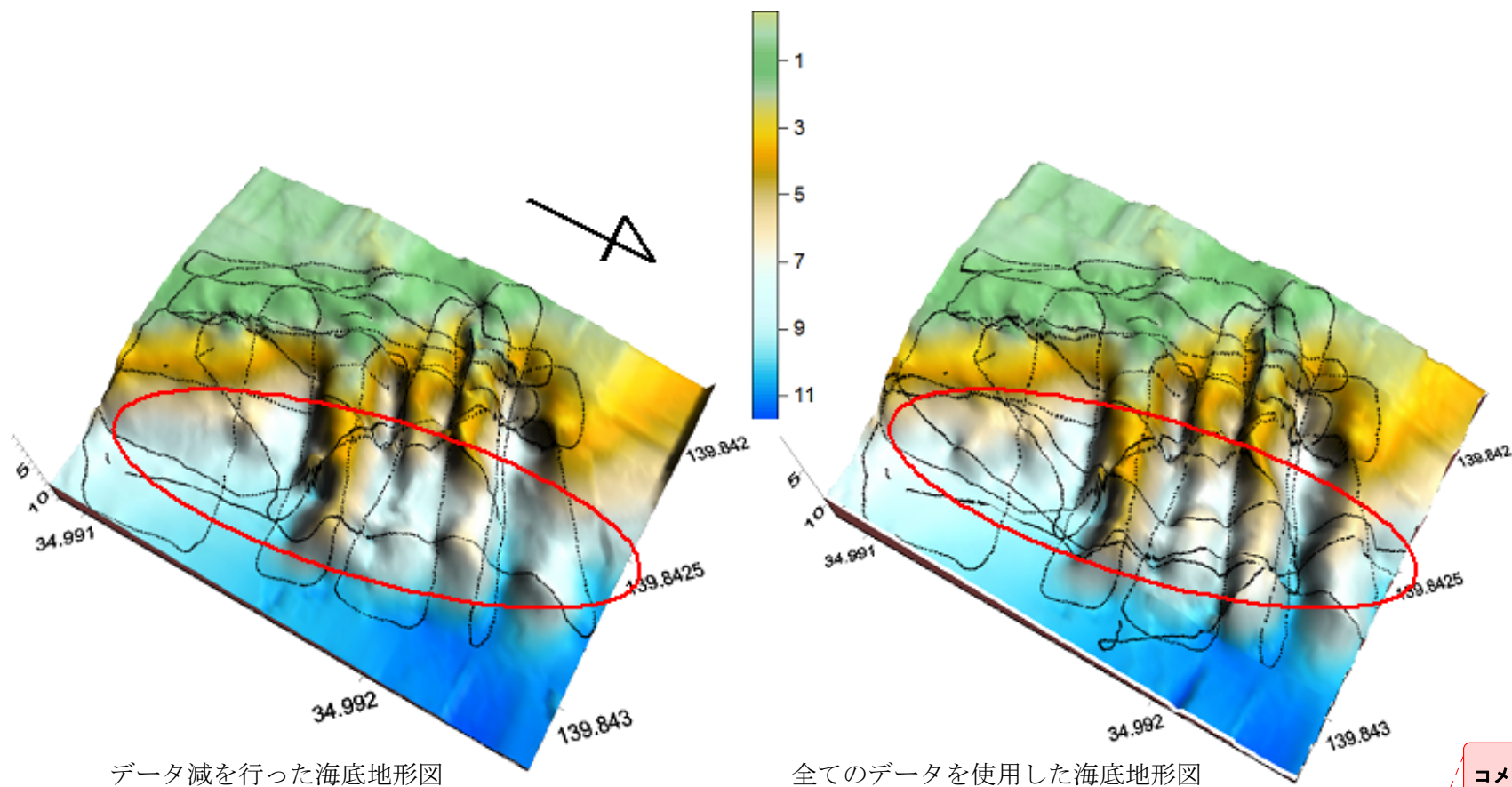


図 3-10 : 航跡を重ねた海底地形図

コメント [MSOffice1]: ページ :

1

削除しました。

図 3-10 の海底地形図上に描かれている黒線が重畳した航跡図である。2 つの航跡を比較すると、図の赤の楕円部分における、南北方向に伸びている航跡において違いがあることを確認できる。この部分が、3-3-1 で述べた実験機器 A が計測を行なうことができず、実験機器 B のみ計測を行なった範囲である。3-3-2 で海底地形の再現性の検討に用いた実験機器 B の図は、実験機器 A が計測を行なうことのできなかった範囲のデータを省いた上で海底地形図の作成を行なっている。これは、図 3-10 では、左の図に該当する。これに対して右の図は削減されたデータを全て使用し、作成した海底地形図であり、赤の楕円部分やその周辺においてデータが補間されていることになる。

この差を踏まえて 2 つの海底地形図で赤の楕円部分を中心に形状の比較をすると、データの増加により海底地形図に変化が生じていることが確認できる。特に船台部分には、データ減をした海底地形図と比較して、船台途中部分の不自然な凹みが少なくなり、北側の船台（4 の船台）においては、この海底地形図だけを見た場合でもその存在を確認することが可能になっている。この結果より、この部分において実験機器 A が正常にデータ取得をされていた場合、海底地形図もより海底の形状を適切に表現していた可能性が考えられる。

### 3-4 考察

本実験に使用した 2 種の機器それぞれで計測したデータを基に作成した海底地形図には、機器のデータ出力頻度の差による取得データ数の違いと、データ間距離の大小により、特に、船台部分の形状や、不自然な

凹凸などに大きな差が見られた。これらの地形図の差は、主に船台や造船所南側の水深 4m 線付近のように、水深変化の顕著な部分に多く見られる。この原因として、ビーム幅による測深範囲の大きさの違いから生じる水深データの誤差などが起因し、これに、GPS の測位精度や測位分解能の差により、実際に測深を行なった地点からずれが生じ、2 種の海底地形図の差につながったと考える。

そして、基準としたマルチナロービーム超音波測深機による海底地形図と比較すると、どちらの海底地形図も全体に多くの凹凸が見られた。これは、計測中に湾内を航行する他船が引き起こした航走波や、風浪によって小型舟艇が揺れた場合、マルチナロービーム超音波測深機によるデータには動揺補正が行なわれていることに対し、本研究で使用したシステムではこれらの動揺による影響を補正することは行なっていないことが大きな要因と思われる。

本研究で調査を行なった海域のように明確な凹凸がある海底地形の計測を、船速 2 ノット前後で行なう場合、機器のデータ出力頻度によって、計測結果に大きな影響を生じる。そのため、海底地形が複雑であると仮定できる場合には、機器の性能を十分に把握した上で計測する必要がある。これに加えて、図 3-10 の結果より、どのような海域においても、測深線を均等に設定し計測を行なうことは海底地形の再現性において非常に重要なことと考える。これらのことより、初めての海域を計測する場合、はじめに船速は速く設定し計測を行ない、データ間を大きく取得し、Surfer8 の補間機能を利用して大まかな海底地形図を作成し、特徴のある海域を低速で詳細に調査する方法が効率の高い計測方法といえる。この時、データ出力頻度の多い機器を使用した場合、船速はさらに速く設定することが可能となり、計測時間の短縮につながる。

## 4 章 和船とインフレーターボートの船体動揺比較

### 4-1 和船とインフレーターボートの主な仕様の違い

機器比較実験で使用した和船は、操船に小型船舶操縦士免許が必要であり、加えて船舶検査も必要とする。小型船舶操縦士免許とは、エンジンやモーターなどの動力を搭載した総トン数 20t 未満の船舶を操縦するのに必要な資格である。免許を取得するには、海技従事者国家試験を受験しなくてはならない。

これに対して、2003 年 11 月 29 日より、国の定めた船の「安全規則」の改正により、操縦士免許と船舶検査が不要すなわち法律の適用外の範囲が次のように改定された。

#### 1) 船の長さが 3m 未満であるもの

この場合、法律で決められた「船の長さ」とは、舵の無いプレジャーボートで一般的に「艇体の長さに 0.9 を掛けた数値」となっている。従って、船の長さ 3m 未満とは、艇体長 3.33m 未満である。

#### 2) 推進機関の出力が 2 馬力以下のもの

2 馬力以下のエンジンとは、正しくは出力 1.5kW 未満のエンジンとされており、1 馬力=0.7355kW であるから、1.5kW は 2.039 馬力となる。ガソリン船外機の場合、出力 2 馬力と表示されている船外機は 1.5kW 未満に相当する。

#### 3) 推進機関が電動機であるもの、又はそれ以外の船外機で以下のいずれかを備えたもの

①直ちに停止できる装置：非常停止スイッチ・キルスイッチ・遠心スイッチ・中立ギア



## ②巻き込み防護用プロペラガード

ここで本研究では、この条件を満たし、小型船舶操縦士免許と船舶検査を必要としない可搬型のインフレーターブルボート（図 4-1）を海底地形計測に使用することを検討した。和船とインフレーターブルボートの主な仕様を表 2 に示す。



図 4-1：インフレーターブルボート

表 2 実験に使用した小型舟艇の主な仕様

	和船	インフレーターブルボート
素材	FRP 樹脂	ハイパロン+ポリエステル エア注入式
長さ	5.3m	2.9m
定員	7 名	4 名
搭載船外機	9.9 馬力	2 馬力
船舶免許・船舶検査	要	不要

ここで用いたインフレーターボートは、アキレス社の FMA-332 に HONDA 社製の 2 馬力船外機 BF2D を搭載し、法律の適用外の範囲を満たしているため、小型船舶操縦士免許と船舶検査を必要としない。そのため和船に比べ計測を行う者が限定されることなく、維持のための費用や手間も軽減される。その上、エアー注入式のインフレーターボートを選定したため、運搬の際にはエアーを抜いて折畳めば、船外機を含む一式をワンボックスタイプの車などに搭載することが可能である。そしてこの状態で実験海域周辺の海岸等に運搬し、陸上で電動式のポンプによりエアーを注入し船外機や計測機器を艀装し終えた後に、組み立て式のドーリーによって進水を行うことができる（図 4-2）。ちなみに、これらの作業に必要とする人員は 2 名もいれば十分であるため、運搬を含む計測実施前の準備作業における省人数化が可能となる。インフレーターボートのこれらの仕様により、誰もがどこでも計測を行うことが可能となり、簡便化の更なる向上が期待される。



図 4-2：準備作業を終え、進水する前のインフレーターボート

## 4-2 船体動揺が計測データに与える影響について

海上などで計測を行うに当たり、波浪等による船体運動は避けられない。船体運動は、船体重心を通る 3 つの座標軸(X,Y,Z 軸)によって定義されている(元良ら、1997)(図 4-3)。このように船体運動は、X,Y,Z 軸に平行な 3 つの運動と、各軸まわりの 3 つの回転運動からなっている。その中のひとつである船首尾方向の X 軸まわりの回転運動である横揺れは、船体 6 自由度運動の中で最も大きな動揺を生じさせる(田中ら、1983)。

このような船体動揺によって、取付けた送受波機が傾斜することにより、水深・位置データに誤差を与える(和田ら、2004)。

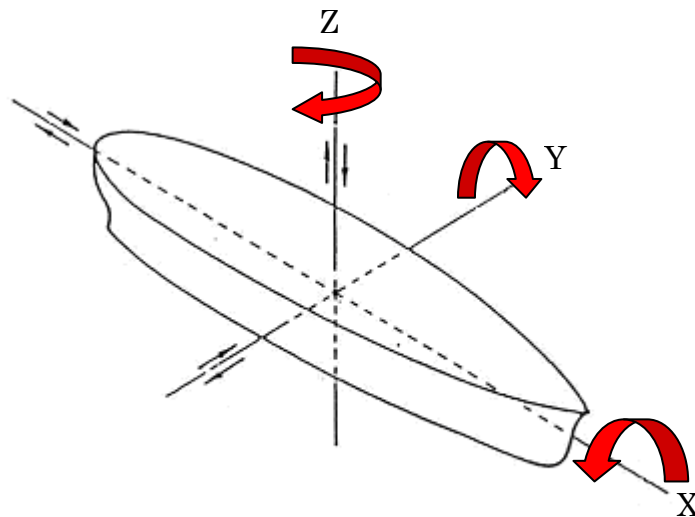


図 4-3：船体 6 自由度運動

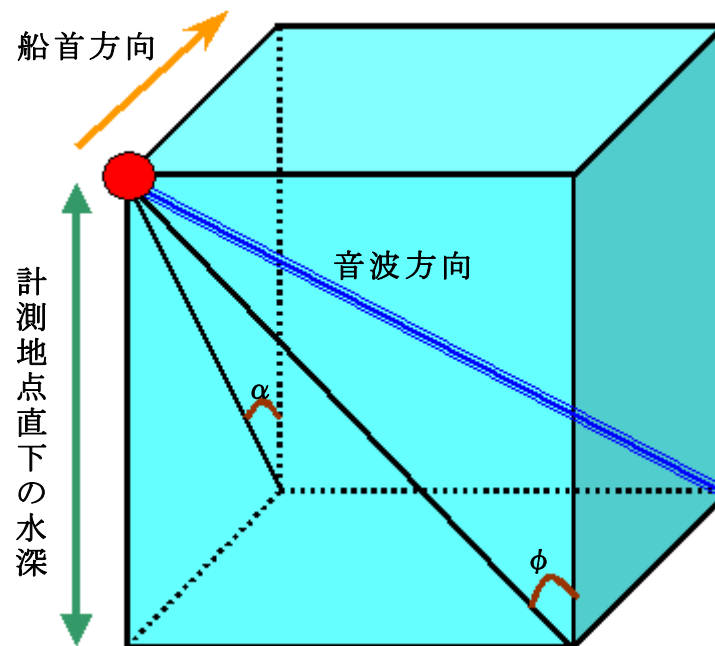


図 4-4：水深データの誤差

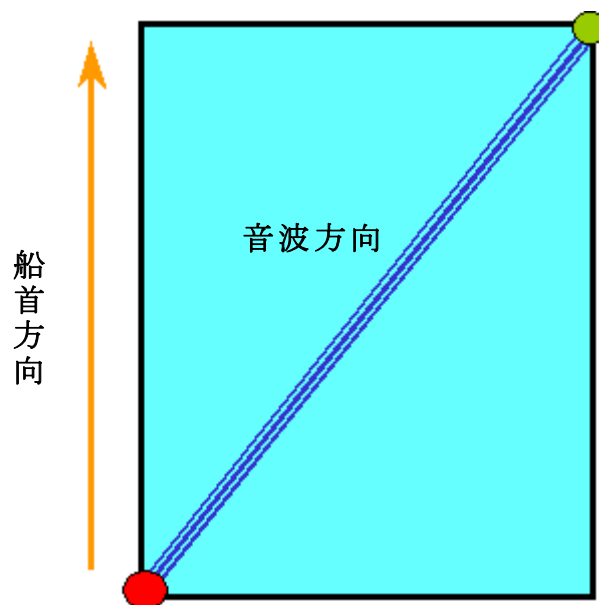


図 4-5：位置データの誤差

図 4-4 において、赤丸部分は計測地点を表す。動揺によって送受波機がピッチ角  $\alpha$ 、ロール角  $\phi$  に傾斜した場合、音波は計測地点の直下ではなく、青線方向に発射されてしまう事となる。この時、直下の海底面に対し、音波方向に浅くなっている地形であった場合、得られるデータは実際の水深に比べて浅くなる可能性があり、逆に深くなるか同じ水深であった場合、実際よりも深いデータとなってしまう。この考え方より水深データの補正を行った場合、次に位置データの誤差も生じる。以下の図 4-5 は、図 4-4 を真上から見た図とする。

ピッチングとローリングにより音波が青線の方に発射され、緑丸の地点の海底に当たった場合、補正を行うことによって得られた水深データは、計測地点ではなく緑丸地点のものである。しかし GPS は計測地点の位置データを出力するため補正の必要がある。このように、船体動揺は海底地形の再現性に影響を与える原因である。

### 4-3 目的

本研究のシステムでは、マルチナロービーム超音波測深機等とは違い、計測データの動揺補正は行っていない。この補正を行うためには船体に動揺計などを搭載し、計測中の船体動揺のデータ取得を行うことや、鉛直ジャイロと油圧装置により駆動される水平安定台に測深機の送受波器を取付けて船体動揺の影響を除く水平安定台方式（mechanical stabilized transducer）などを用いる方法がある。しかしこれらの機器を使用することは、海底地形図作成のための準備費用の追加につながり、経済的負担の小さいシステムの構築という本研究の目的から離れてしまう。よって、本研究のシステムで船体動揺による計測データの影響を減少させるために

は、航行中に比較的動揺の少ない小型舟艇を使用することが望まれる。

機器比較実験に用いた和船に対し、インフレータブルボートが船体動揺の大きい船であった場合、本研究のシステムによる海底地形図計測に使用するには適していない。そこで本実験では、波により生じる船体動揺を和船とインフレータブルボートで比較を行い、計測データにおよぼす影響に差異があるのかを検討した（以下、動揺比較実験）。これにより、インフレータブルボートが本研究のシステムに使用可能な小型舟艇であるかを検討した。

#### 4－4 使用器材

本実験では、動揺慣性測定装置を用いて計測を実施した。また、船体動揺の計測を2種の小型舟艇で順番に行ったため、マイクロ波式波高計を使用しそれぞれの計測時間帯における波高の計測を行い海況の比較をした。

動揺慣性測定装置には㈱トキメック社製の TMOS-1500 型を使用した。この装置は、3次元空間を移動する航走移動体の方位角、姿勢角、角速度、および加速度を計測して連続出力するシステムである。計測方式は振動ジャイロ(TFG-160)と加速度計(TA-25)をそれぞれ3個ずつ、磁気方位センサ(MAS-20G/MAS-20)1個を移動体に設置したストラップダウン方式である。この装置は、7個のセンサ出力から、移動体固定座標系より地球座標系に変換する座標変換行列を求め、計算機内部に仮想の指北、水平プラットフォームを作り、地球座標に対する移動体の方位角、姿勢角、ロール角などを出力する。装置は、センサユニット、磁気方位センサ、演算ユニット、電源ユニットの4つの構造によって構成されている(溝口、2005)(図4-6)。

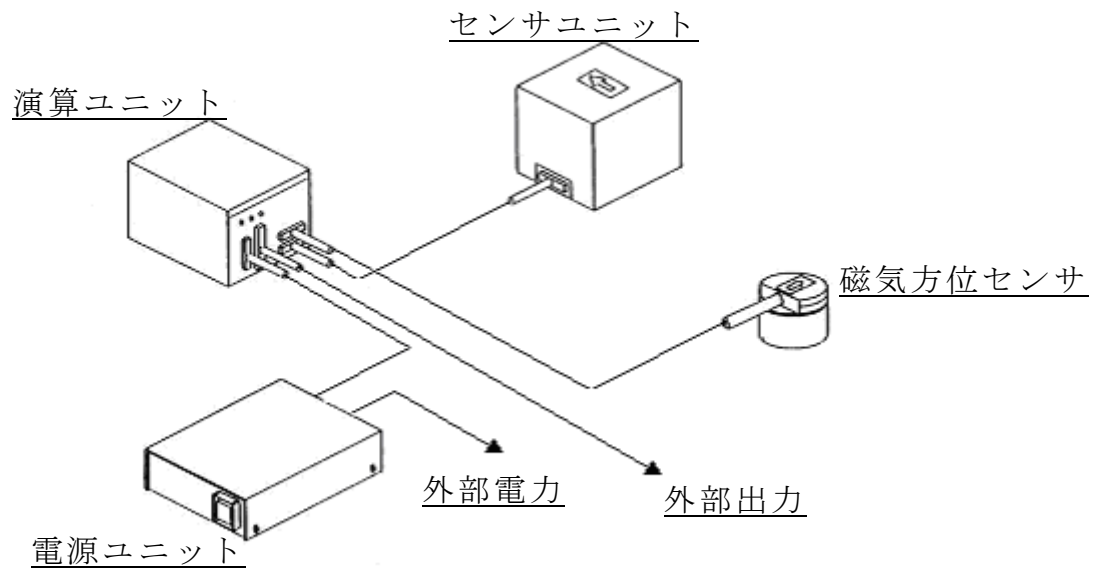


図 4-6：動揺慣性測定装置システム構成図

そして、波高の計測には榊鶴見精機社製の WM-2 型を使用した。マイクロ波式波高計とはマイクロ電磁波を使用し、マイクロドップラー効果を用いて船舶上の固定位置より海面の上下変位量を測定して海面の変位を計測するものである（山口、2004）。

#### 4-5 実験方法

実験は 2007 年 7 月 9 日に実施した。まず本学実習艇ひよどり（19t）船首部分にマイクロ波式波高計を設置し（図 4-7）、実施時間内における実験海域の波高を計測した。そしてひよどりの周りを、動揺慣性測定装置を搭載したそれぞれの小型舟艇で周回する。なお、この機器はそれぞれの小型舟艇の中央部に設置した（図 4-8）。船速は海底地形計測時と同様に 2



図 4-7：ひよどり船首部分に  
設置した波高計



図 4-8：小型舟艇に搭載した  
動揺慣性測定装置

ノット前後に設定し、その確認にはハンディ GPS によって行った。使用した機種は GARMIN 社製の GPSMAP76-J である。計測時間はそれぞれ 20 分ずつ行い、得られたロール・ピッチ角の波形データをゼロアップクロス法により階級分類し、その階級毎の頻度を比較した。これにより、2 つの小型舟艇における動揺特性について検討した。

#### 4-6 結果

ゼロアップクロス法によって、ロール・ピッチ角の階級分類をしたデータによりヒストグラムを作成した(図 4-9)。階級の単位は振幅の角度  $1^{\circ}$  毎に設定した。なお、波高計により計測した実験時間内の有義波高は、インフレーターボートが 17cm、和船が 19cm、最大波高はそれぞれ 27cm と 36cm であった。よってほぼ同条件での計測であった。



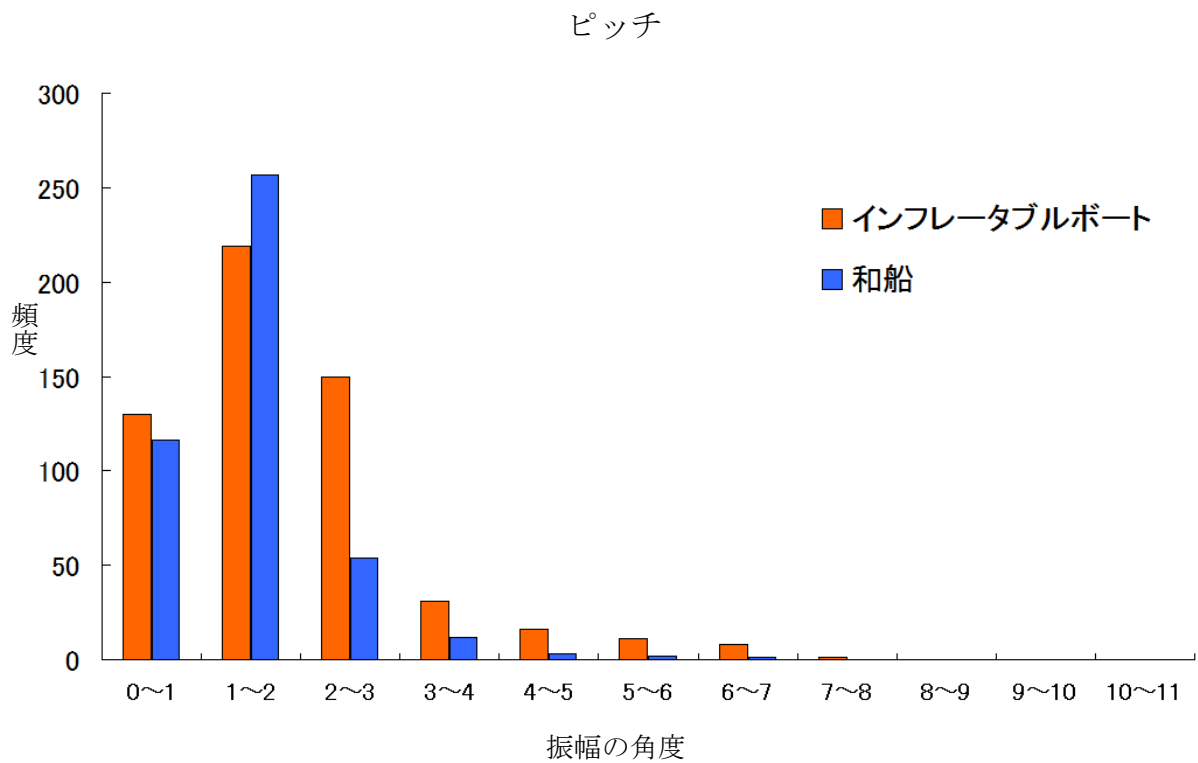
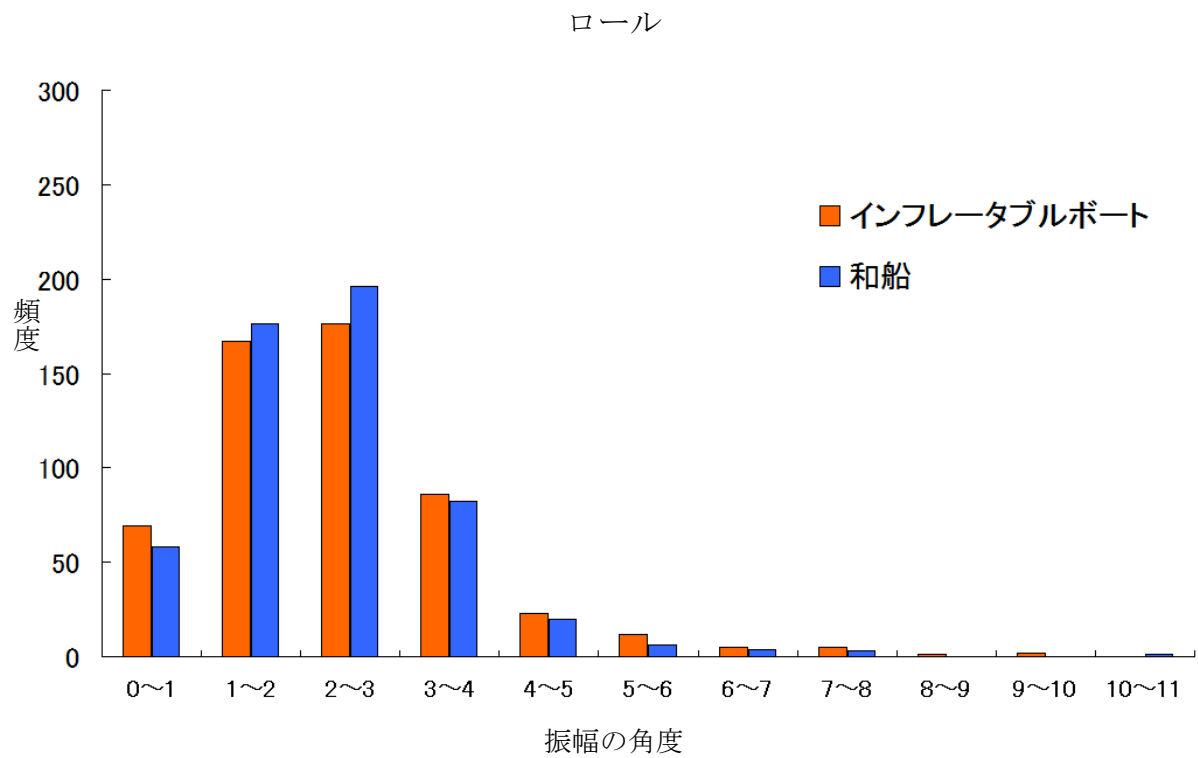


図 4-9 : 2 つの小型舟艇における振幅頻度

表 3 : 2 つの小型舟艇における振幅の比較

ロール	インフレータブルボート	和船
平均振幅(deg)	1.2	1.2
有義振幅(deg)	1.8	1.9
最大振幅(deg)	5.1	5.0
ピッチ		
平均振幅	0.9	0.7
有義振幅	1.6	1.1
最大振幅	3.5	3.4

このグラフで比較すると、2 つの小型舟艇のローリングとピッチングの起こり方について目立った差は見られない。わずかではあるが、ピッチングの回数においてインフレータブルボートが多く起こっているということ程度である。次に、それぞれの平均振幅、有義振幅、最大振幅について比較する（表 3）。

この表より比較を行っても、2 つの小型舟艇の間にはほぼ数値の差が見られない。これらの結果より、インフレータブルボートと和船の波によって誘起される船体動揺についてはほぼ違いが無いことが分かった。

#### 4-7 考察

本実験の結果により、2 つの小型舟艇に関しては、船体動揺が海底地形計測のデータに及ぼす影響はほぼ同等の条件で計測を行うことが可能である。これにより、インフレータブルボートは本研究のシステムに十分使用可能であるといえる。

仮に水深 10m の平坦な海域において、本実験で得た結果から、最大振幅である約 5° 送受波器が傾斜した場合、得られる水深データの誤差は約 4cm 程度しか

い。加えて、使用した魚群探知機のビーム幅（ $10^{\circ}$ ）を考慮した場合、この誤差も無いものと考えられる。しかし、送受波器が傾斜した方向に、船台のような急峻な地形の上昇が起こっており、ビーム幅の範囲（水深 10m で半径 90cm 弱の円）に入ってしまった場合、水深データは明らかに浅くなる。逆に送受波器が傾斜した方向に急激な地形の下降が起こっており、ビーム幅の範囲がその下降部分に全て入ってしまった場合、水深データは深くなってしまう。このような水深データの誤差と GPS の測位誤差が起因し、本研究で作成した海底地形図には船台付近などの水深の変化が大きい地点では特に細かな凹凸が見られる。

しかし、本研究で使用したインフレータブルボート以外にも、免許不要のミニボートは様々なメーカーより、形状や素材なども多種多様なものが販売されている。この中には、さらに船体動揺の少ないタイプの製品が存在する可能性がある。よって使用するミニボートの選定を行うことによって、さらに計測データに与える影響を軽減できる。

本実験は、実施した時間内の有義波高が 16~19cm と非常に穏やかな海況の中で行った。もしさらに波高のある状況で計測を行った場合、2 つの小型舟艇の結果に差が生じる可能性は考えられる。しかし、動揺補正を行わない本研究のシステムでは、計測中の海況が穏やかで無くなるにつれ、波によって誘起される船体動揺は大きくなり、計測データに与える影響も比例することは明らかである。それに加え、計測作業の安全性を確保するためには、海況の悪い中でこれらの小型舟艇を使用することは不可能である。よって本研究のシステムの使用に際しては、海底地形図の適切な表現や作業における安全確保のためにも、穏やかな海況で計測を行うということが大前提となる。

## 5. インフレーターブルボートによる海底地形図の作成

### 5-1 目的

4 章の動揺比較実験の結果より、インフレーターブルボートは本研究のシステムに使用可能な小型舟艇であることが証明された。よって本実験では、実際にインフレーターブルボートを使用して海底地形計測を実施し、運搬・準備、さらに計測を行なう際の効率化や少人数化を計り、海底地形図作成作業の全般における簡便性の向上を目指した。加えて計測で得られたデータを基に海底地形図を作成し、その特性についても検討を行った。

### 5-2 実験方法

実験は 2007 年 5 月 29 日に実施した。計測時間は午前 8 時半から 11 時の約 2 時間半である。3 章の機器比較実験の結果より、本実験では実験機器 B を使用した。船速や送受波機の周波数は機器比較実験と同様に設定した。GPS と送受波機をインフレーターブルボートの船尾部分、船外機の横に取り付け（図 5-1）、魚群探知機本体や PC を収納したコンテナを中央部分に搭載した（図 5-2）。なお、搭載している船外機の燃料タンクの容量が 10 と非常に少ないため、1 時間程度の航行で燃料切れになってしまう。よって予備の燃料を搭載し、海上にて給油作業を行なう必要があった。



図 5-1：GPS と送受波機の  
取り付け状況



図 5-2：中央部に搭載したコンテナ

前述したとおり、実験機器 B は使用した GPS と魚群探知機の仕様により、魚群探知機本体のモニターに航跡や船速の表示をすることができない。しかし効率良く計測を行なう上では、現在位置やデータ取得を行なった部分を把握するということは重要である。よってこの問題点を解消すると同時に、海上での作業を行なう人員の少人数化も目指し、ワンマンによる海底地形計測を行なうことが可能となるシステムを構築した。

このシステムでは、計測者が一人でインフレーターボートに乗り込み、操船を行ないながらデータの取得を行なうために、計測者は船外機とコンテナの間に乗る（図 5-3）。



図 5－3：計測者の乗り込む位置

コンテナ内の PC 画面上には、本実験ために作成したプログラムにより、計測を効率よく進めるための操船に必要な情報が表示され、その他にいくつかの機能を持たせた（図 5－4）。計測者はこれを確認しながら操船を行なうことにより、ワンマンにて計測を実施することが可能になる。

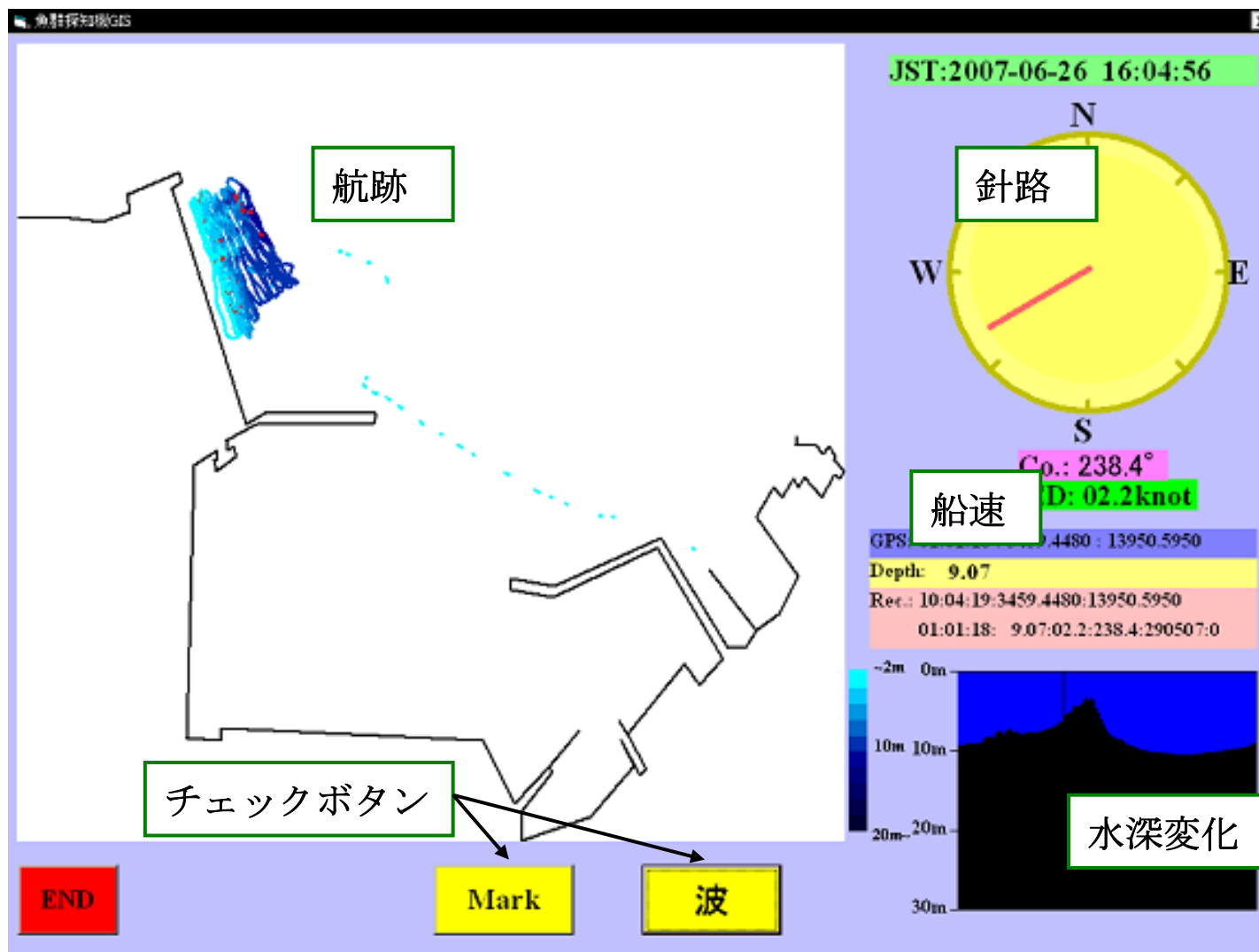


図 5-4：作成したプログラムにより PC 画面上に表示される情報

作成したプログラムでは、GPS から得られたデータによりリアルタイムで航跡・針路・船速が PC 画面上に表示される。また魚群探知機より得られたデータによって、計測を行なってきた部分の水深変化が断面図状に表示されるので、海底地形の急激な凹凸がどの地点で起きたかを知る参考となる。そして両方のデータにより、一定の水深毎に航跡の色が変化する機能もあり、航跡図上でも水深の変化を大まかではあるが確認することが可能である。また、他船による航走波などによって船が大きく傾くと、計測データに影響を与える可能性があるため、このような場合に備えて画面上のチェックボタンをクリックすることで、航跡と水深変化の図にマークをつける機能を持たせた。これによりマークをされた断面図の部分に、明らかに不自然な凹凸が見られた場合には、その場で問題となる地点に戻り、再度計測を行なうことが可能となる。これに加え、PC に記録されたデータにおいてもマークが表示されているため、解析の際に即座に識別することが可能となっている。このシステムを使用することにより、ワンマンにて計測を行なうことが可能となった。また、計測時間内の館山湾付近の干満差は 20cm あったため、機器実験と同様に潮汐補正を行ない水深データとした。

### 5－3 結果

#### 5－3－1 航跡図

得られたデータの内、船体の動揺などで誤差の大きく生じたデータを除いた後のデータ数は 8343 個であった。はじめに、本実験での航跡図を作成した（図 5－5）。



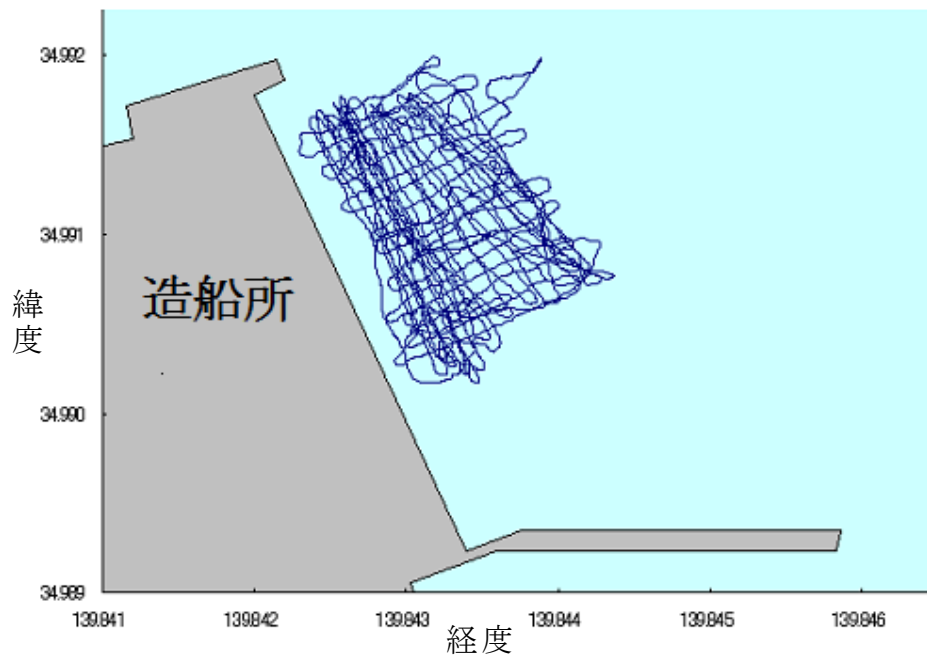
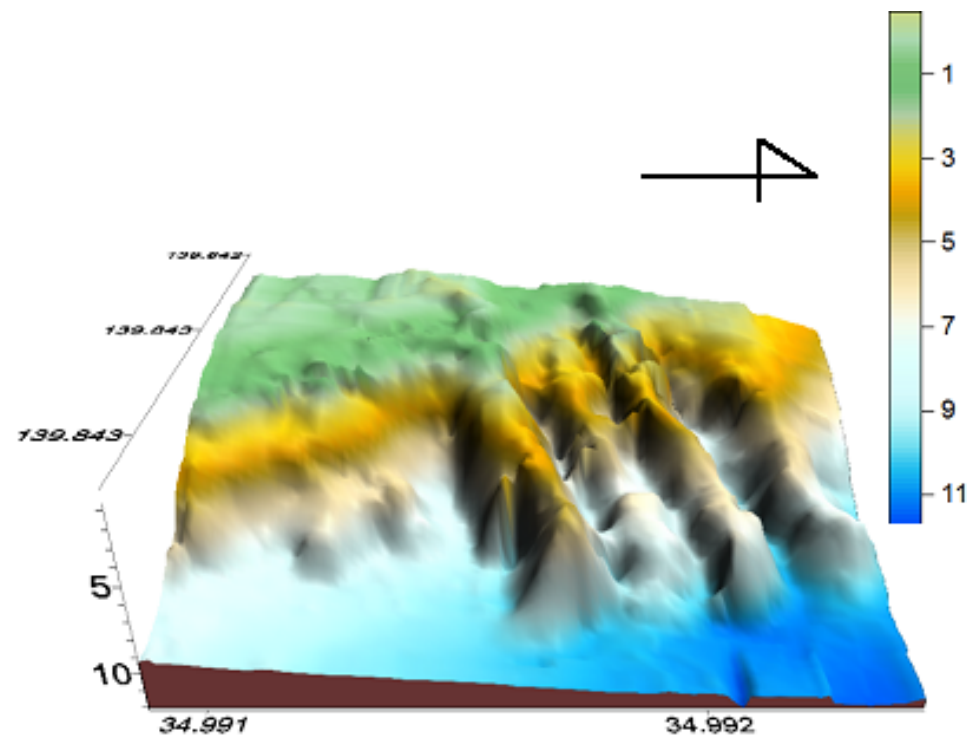


図 5-5：本実験の航跡図

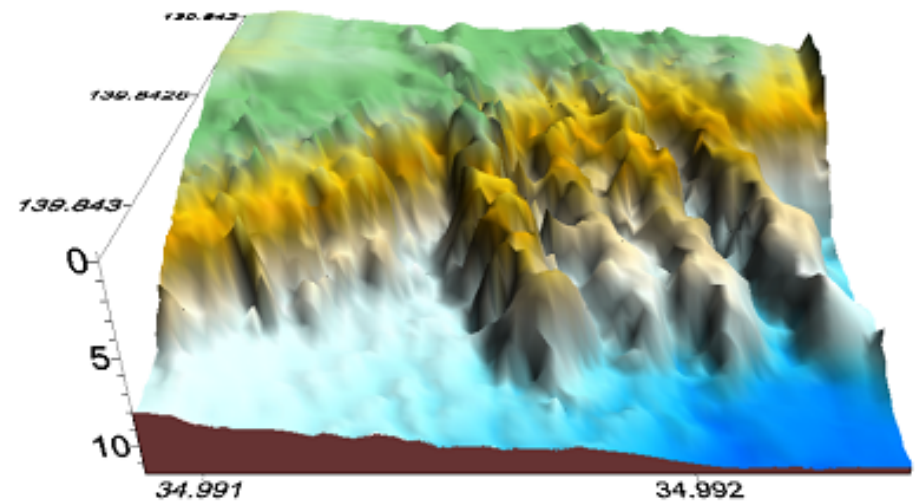
この計測では、計測範囲は機器比較実験とほぼ変わらない大きさに設定し、計測時間は長く行なったため、非常に密度の高い格子状の航跡図となった。

### 5-3-2 海底地形図

このデータを基に作成した海底地形図の再現性の評価を、機器比較実験において同じ実験機器 B を使用した 3 次元海底地形図との比較（図 5-6）により、約 2.5 倍に増加したデータ数と測線による再現性の変化を検討した。そして、基準の海底地形図との比較（図 5-7）により、海底地形の再現性の評価を行なった。なお、本章にて作成した海底地形図は全て、90°（東）の海面から伏角 30° で対象の海底を鳥瞰した地形図である。

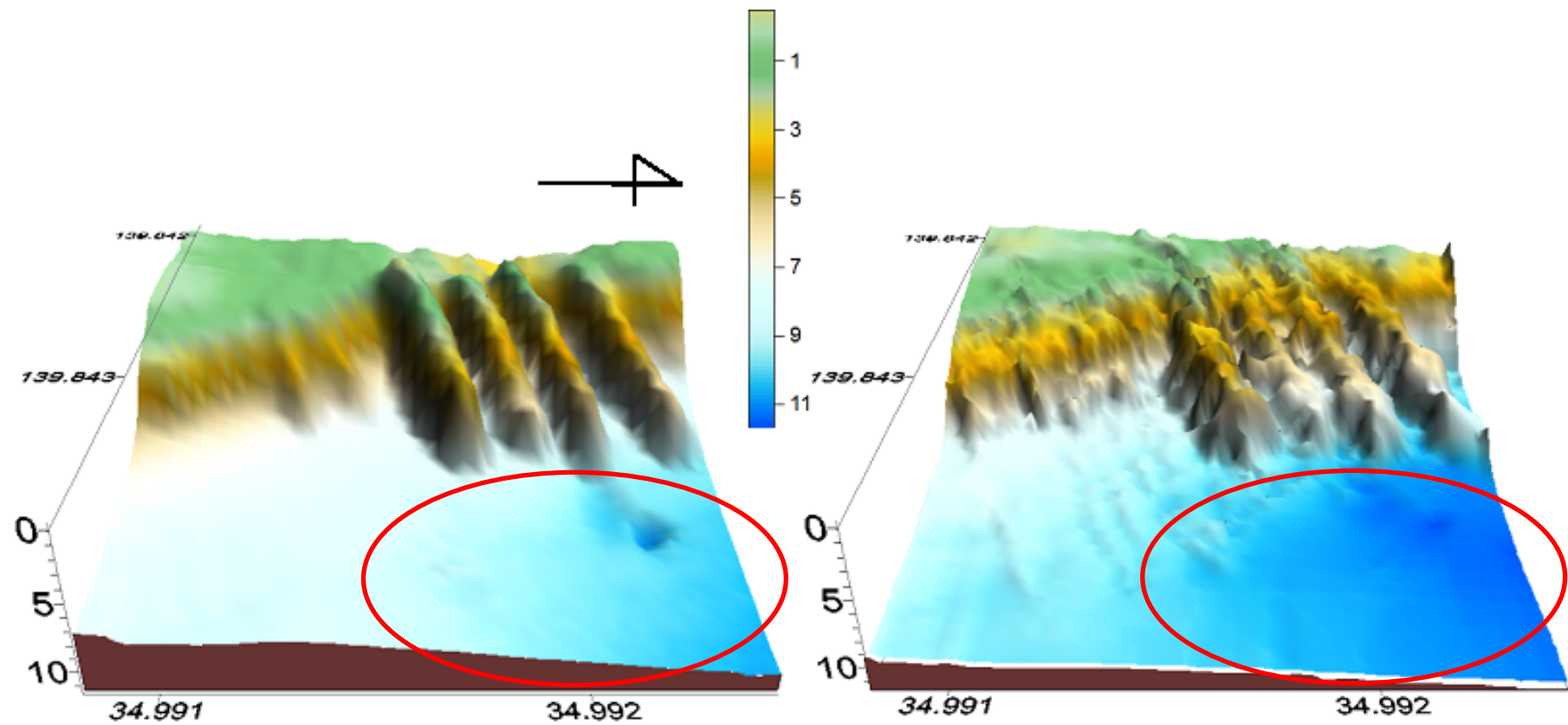


機器比較実験のデータによる海底地形図



インフレーターボート使用による海底地形図

図 5-6 : データ数、測線増加による海底地形図の変化



マルチナロービーム超音波測深機による海底地形図

インフレーターブルボート使用による海底地形図

図 5-7：基準の海底地形図との比較

図 5-6 において、同じ機器を用いて作成した海底地形図であるが、4 本の船台の形状を比較すると、機器比較実験の海底地形図は船台の所々に大きな凹みがあり、太さにばらつきがあることに對し、インフレーターボート使用による海底地形図は、細かな凹凸はあるものの、船台の高さ、太さにおいて比較的均一に表現されている。そして、造船所北側の水深約 4m 付近の形状を比較すると、機器比較実験の海底地形図は北に行くにつれ、水深はなだらかに落ち込んでしまっている。しかし、本実験の方はその部分に水深 4m 線が存在することを確認できる。これによって、約 2.5 倍に増加したデータ数と測深線によって、より海底地形を適切に表現していると判断できる。

図 5-7 では、基準としているマルチナロービーム超音波測深機による海底地形図と比較する。ここでも動揺補正を行っていない事などが原因と考えられる細かい凹凸の差はあるものの、4 本の船台や水深 4m 線の形状はほぼ一致しているといえる。しかし、基準の海底地形図には船台の終点部分以降の沖合に大きな凹みが存在していることに對して、インフレーターボート使用による海底地形図には凹みを確認することはできない。また、その凹み周辺のエリア（赤の楕円部分）において、基準の海底地形図に比べて過剰に深い水深で表現されている。その原因は、航跡図を重畳した図（図 5-8）を確認すると分かるように、本実験では赤の楕円部分のエリアにおいて計測が行なわれておらず、Surfer8 の補間機能により作成されている部分であるためと考えられる。

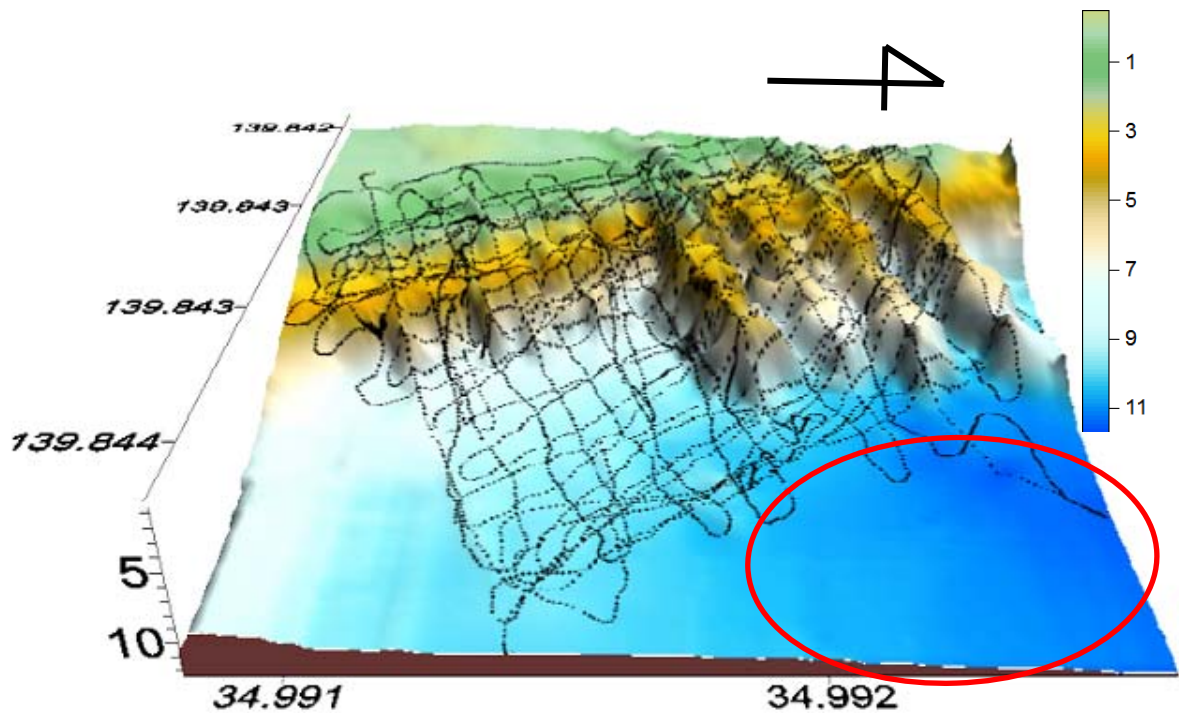
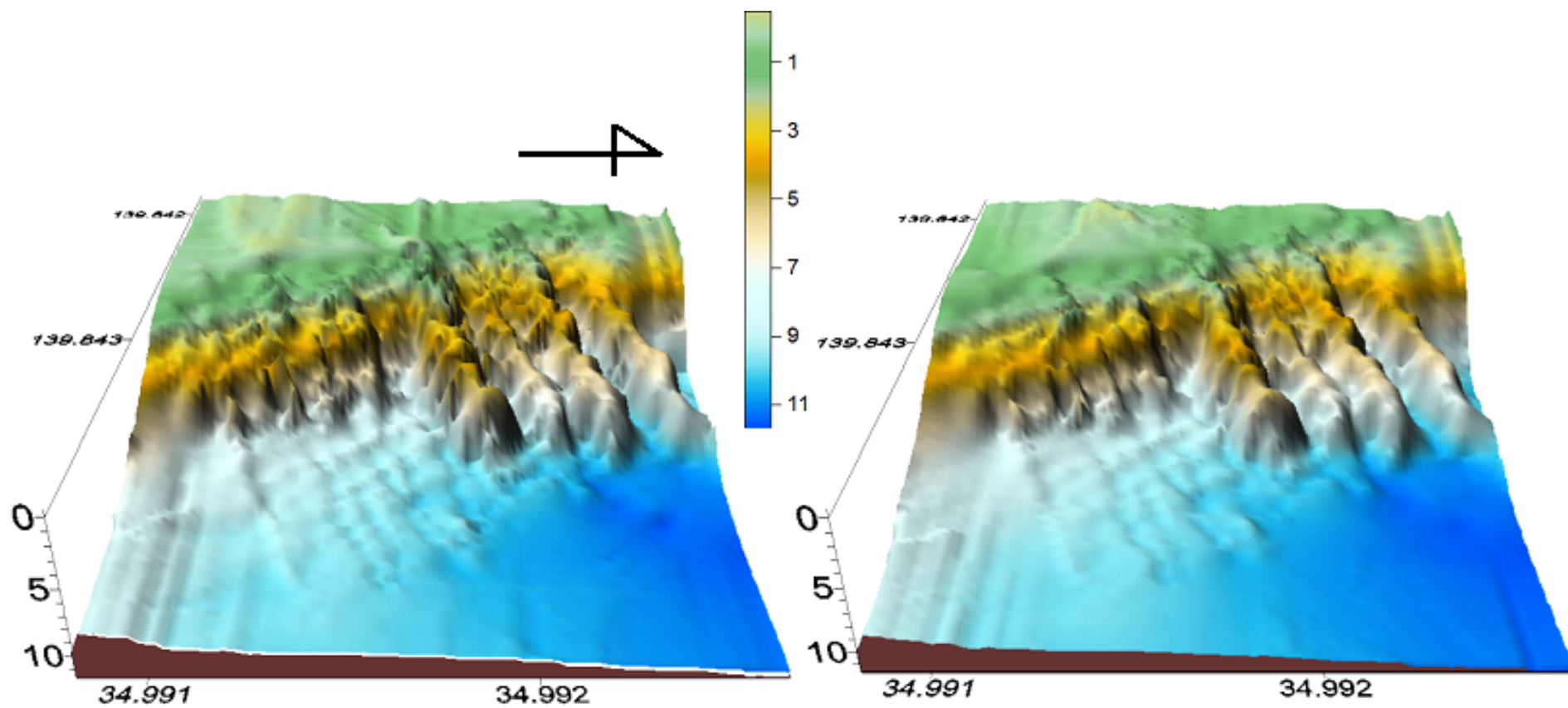


図 5-8：航跡図を重畳した海底地形図

### 5-3-3 船速変化のシミュレーションにおける海底地形図の変化

本実験にて取得したデータを用い、本研究で設定した船速よりも速く計測した際のシミュレーションを行なった。まず海底地形図作成に使用可能なデータを全て使用した海底地形図（図 5-6 など）を船速 2 ノットで計測を行なったものと設定する。そして本実験の航跡を船速 4 ノットで行なった場合として、全てのデータを 1 秒おきに使用し、データ数を半分に減少させて海底地形図を作成した。同様に 2 秒おきにデータを使用したものを 6 ノット、3 秒おきを 8 ノットとして作成し、海底地形の再現性の変化を比較した。比較にあたっては、全てのデータを使用した海底地形図と、船速 8 ノットで計測を行なったと仮定して作成した海底地形図（図 5-9）と、その 2 つのデータ分布を表示した図（図 5-10）を作成した。



全てのデータを使用した海底地形図

船速 8 ノットで計測を行なったと仮定した海底地形図

図 5-9 : 計測時の船速変化による海底地形図の変化



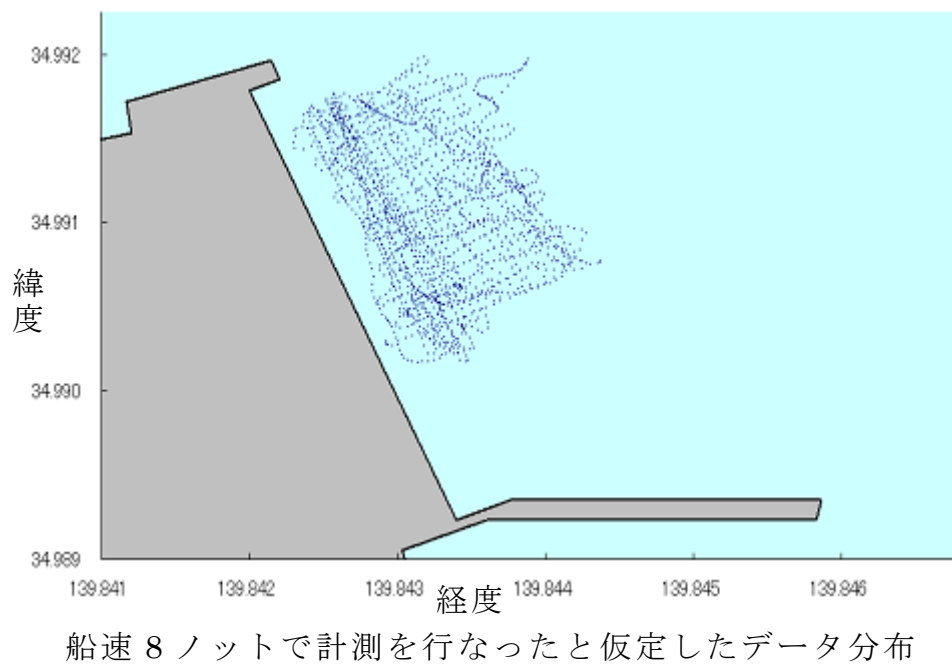
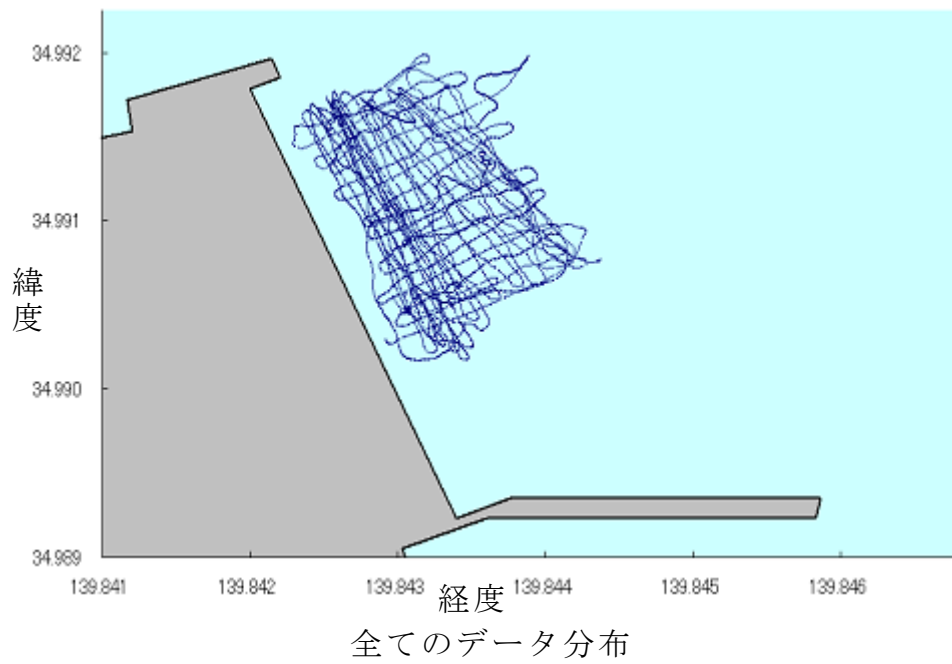


図 5-10：計測時の船速変化によるデータ分布

船速 8 ノットにて計測を行なったと仮定した場合の、海底地形図作成に使用したデータ数は、全データの約 1/4 にあたる 2086 個であった。図 5-10 で示したようにデータ分布を比較すると、2 つのデータ数の差がより明確である。全てのデータを使用した場合、航跡図のように計測を行なった際の移動状況が確認できる。しかし、データの密度が減少したことによって、航跡を確認しづらくなっている。しかし、これほどのデータ削減を行なったにも関わらず、2 つの海底地形図を比較しても、再現性に明確な差異は見られなかった。船速 8 ノットにて計測を行なったと仮定した海底地形図でも、4 本の船台や水深 4m 付近の線の形状などは十分に確認することが可能である。今回のシミュレーションでは、等間隔にデータの削除を行なったため、データ数や密度は大きく減少しているものの、均等にデータの取得を行なっている状況に変わりはない。そして、大きくなったデータ間の空白部分は Surfer8 の補間機能によってカバーされているため、結果として海底地形図に大きな差異が起こることは無かったと考える。仮に、計測海域全体を均等にデータ取得をせずに、全体のデータから航跡 1 本単位でデータを削減し、本実験より計測時間を少なく行ない、測線の間隔を広げて計測を行なった場合、作成される海底地形図は、均等なデータによるものに比べて差異が生じる可能性は非常に高い。

#### 5-3-4 ワンマン計測システムについて

最後に、ワンマン計測システムについての評価を行なう。計測を行なった著者自身、船舶免許の類は持っておらず、自分の手で操船を行なうことが初めてであった。このため、まずはインフレーターボートの操船に慣れるために数時間の練習は必要とした。しかし複雑な操作等はあまり必要ではないため、操船に慣れれば、作成したプログラムによって、大きな問題は無く海底地形計測を進めることができた。チェックボタンの機能によ



り、他船による航走波が近づいた際、安全の確保の為に方向転換や移動を行なった間のデータは、解析の際には容易に識別することが可能であった。

#### 5－4 考察

機器比較実験に比べ、実験海域の計測を詳細に行なうことにより、海底地形の再現性はより高いものとなった。しかし、本研究のシステムでは、データの密度がある程度よりも高くなっても、Surfer8の補間機能により作成される海底地形図の、再現性の大きな向上は見られない。これにより、計測の効率をさらに向上させるためには、計画測線の設定を行ない、測線の間隔は広くせずに本実験で行なった船速よりも速く設定し、対象とする海域における計測データの分布を均等に取得していくことによって、計測時間の短縮を図ることが可能であると考ええる。

そして、今回作成したプログラムとインフレーターボートの使用により、本研究で示した海底地形図作成のための計測を、免許不要でワンマンによって実施することが可能となり、船を含む調査機器一式を運搬・準備における少人数化を行なうことができた。これにより、海底地形図作成の簡便化を図ることができた。

## 6. まとめ

船舶航行に関係の無い海岸近くの浅海域では、海図などから詳細な海底地形の把握が難しい現状に対し、これまでに、GPS と魚群探知機から得られたデータを基にした海底地形図作成の方法が示されてきた（宮本ら、2006）（和田ら、2004・2006）。本研究では、これらと同様の機器であっても、仕様や性能の違いによって、作成される海底地形図にも変化が生じるという結果を得た。そして、今後さらに効率の良い計測方法確立することにより、本研究で示した海底地形図と同等あるいはそれ以上の物をさらに短時間で作成する事が可能であると考ええる。

市販の GPS と魚群探知機、等高線/3次元地図作成ソフトウェアによる本研究のシステムであれば、大規模な調査船や高価な機器を必要とせずに、機器を一度揃えれば故障等を除き半永久的に、漁業者や研究者自身が自ら容易に海底地形図を作成することが可能となる。さらに、本研究で使用したインフレータブルボートなどを用いることにより、船を含む調査機器一式を車一台で運搬することが可能であり、海に限らず湖や運河など、あらゆる場所で簡便に、操船を行なうための資格や船舶検査も必要なく、一人で計測を行なうことも可能になる。これにより、さらに使用者や使用条件の幅が広がるといえる。しかし現在、この免許不要のミニボートの普及に伴い、マナーの悪い使用者と漁港などとのトラブルが増加している現状もある（植村ら、2006）。そして何より、安全な船舶航行についての知識等を全く持たなくても使用をすることが可能であるため、このボートの使用者による事故が発生しやすいことも事実である。よって、使用者を選ばないシステムといっても、安全に計測を行なうための最低限の知識は知っておく必要があると考ええる。

近年、開発途上国でも津波の被害が生じている事などにより、海底地形図の必要性が認識されている。しかし、こうした国々の沿岸域における海底地形は必ずしも十分に把握されていない。また、静岡県・富山県等の中部山岳地帯を源とする河川の河口を持つ県をはじめとして日本各地で海岸侵食の激化が問題となっている。しかし、本研究のシステムにより海底地形を把握することで、局地的な地形変動を起こしている地点の特定や、海岸保護対策の参考となる。加えて、数年前より島根県東部の大山隠岐国立公園内大社町日御碕の近海において、海底遺跡のような構造物等が多数確認されている。これに対し初期調査などにこのようなシステムを使用することにより、この存在を確かめる大きな一歩となることも考えられる。このように、沿岸域の海底地形が十分に把握されていない現在、本研究で使ったシステムは、さらに改良を重ねることにより、様々な分野での活用が期待できる。

今後の課題・展望として、本研究で作成したプログラムにおいて、計画側線の表示や航跡図のズーム機能など、更なる改良をおこなうことにより、計測の効率が向上すると思われる。そして、最終的には計測中に得られたデータより船上でリアルタイムに3次元海底地形図の表示が行なわれるようなシステムが最終目標になるのではないかと考える。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科、応用情報システム工学研究室の柿原利治教授、宮本佳則准教授、内田圭一助教に終始御指導御鞭撻を賜りましたことを心よりの御礼申し上げます。

本論文の取り纏めにあたり、親切な御教示と丁寧な御校閲を賜った東京海洋大学海上安全工学研究室の武田誠一教授に厚く御礼申し上げます。

また、本研究で用いた解析資料の計測にあたり、快く御協力いただきました東京海洋大学館山ステーション館山湾内支所、伊東順一氏、東京海洋大学実習艇「ひよどり」の酒井一英艇長、ならびに山根勝行機関長に深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、計測にご協力いただき、また、解析を進めるにあたり貴重なご意見をいただきました、博士後期課程の溝口弘泰氏をはじめとする海上安全工学研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、貴重なアドバイスをいただきました海洋計測工学研究室の博士前期課程今泉智人氏にご心より感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、日々御助言、御協力頂きました応用情報システム工学研究室博士前期課程の星陽介氏、宮城亜紀氏、横山錦也氏、田口修平氏をはじめとする水産専攻科生、学部生、卒業生の皆様にご心より感謝申し上げます。

東京海洋大学入学以前よりの友人であり、入学に際しては多大なお力添えを頂き、そして現在は同研究室の仲間である博士前期課程吉田空久氏にご心から感謝申し上げます。そしてこれからもよろしくお願い致します。

東海大学海洋学部在学中、様々な面で日々御指導を賜りました三澤良文教授にご心より感謝申し上げます。

また、日々の生活面において精神面で支えていただきました多くの友人  
諸君に心より感謝申し上げます。

私の研究生活はここに書ききれない、本当に多くの人に支えていただきました。  
皆様に心より御礼申し上げます。

最後に、全ての面にて支えとなりました、両親、兄、姉、姪と甥に心より  
御礼申し上げます。

## 参考文献

- 井上正昭、“アワビの種苗放流とその効果”、水産学シリーズ、恒星社厚生閣、No.12 (9-25)、1976
- 植村敏久編集、“SMALL BOAT”、株式会社舵社、No.12 (68-73)、2006
- 植村敏久編集、“SMALL BOAT”、株式会社舵社、No.9 (58-59)、2006
- 海洋科学技術センター (JAMSTEC)、“海底地形図をつくる”、Blue Earth 2001、No.54. (25-33)、2001
- 柿沼太郎・富田孝史・秋山実、“海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波の数値計算”、海岸工学論文集、No.50 (286-290)、2003
- 田口修平、“魚群探知機による海底地形図の作成に関する研究” 東京海洋大学学士論文、2006
- 田中紀男・池田良穂・羽田康夫、“小型漁船の横揺れ特性に関する研究(2) 非線形横運動方程式の一解法”、関西造船協会誌、No.189、(43-49)、1983
- 田原陽三・井上喜洋、“定置網と魚の行動”、さかな、No.31 (57-65)、1983
- 溝口弘泰、“小型漁船の自由横揺れ減衰特性に関する研究”、東京海洋大学修士論文、(1-7)、
- 宮本佳則・内田圭一・柿原利治・武田誠一・東海正・塩出大輔、“GPS と魚群探知機を用いた沿岸域詳細海底地形計測に関する研究”、日本水産工学会学術講演会講演論文集、(269-270)、2006
- 元良誠三監修・小山健夫・藤野正隆・前田久明共著、“改訂版 船体と海洋構造物の運動学”、成山堂書店、1997

山口 繁、“小型漁船の安全操業を目的とした東京湾における波浪特性に関する研究”、東京水産大学博士論文、(7－9)、2004

吉田 空久、“GPS 魚探による沿岸域海底地形図の作成”、東京海洋大学学士論文、2005

和田雅昭・畑中勝守・木村暢夫・天下井清、“水産業における情報技術の活用についてⅠ”、日本航海学会論文集、No112. (189－198)、2004

和田雅昭・畑中勝守・雫石雅美、“水産業における情報技術の活用についてⅡ”、日本航海学会論文集、No.115 (83－89)、2006

和田雅昭・宮川健三・山岡誠・天下井清・木村暢夫・岩村利弘、“水上オートバイを用いた測深システムの開発”、水産工学、No.41 (1－12)、2004

Golden Software, Inc.、“Surfer8 User’s Guide”、Golden Software, Inc. (1－195)、2002